Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement

Environment Canada
Environmental Protection Service

collection
ENVIROGUIDE

LA MORPHOLINE

Canada

juin 1985

86-05889/

COLLECTION «ENVIROGUIDE»

La collection «Enviroguide» est constituée de guides d'information technique à utiliser en cas de déversements de matières dangereuses. Chaque guide fournit une masse considérable d'information relative au produit chimique dont il traite. L'information ainsi présentée a pour but d'aider l'utilisateur à mettre sur pied un plan d'intervention en cas d'accident et à évaluer les incidences sur l'environnement que peut avoir tel ou tel polluant. Le contenu de chacun des guides a été vérifié par la Direction des services techniques du Service de la protection de l'environnement avant que ne soit autorisée sa publication. Il est à noter qu'une telle autorisation n'implique pas que le contenu des guides reflète les points de vue ou la politique du Service de la protection de l'environnement. De même, le fait de mentionner des marques déposées ou des noms de produits commerciaux ne doit pas être interprété comme une forme de recommandation.

collection
ENVIROGUIDE

LA MORPHOLINE

SERVICE DE LA PROTECTION
DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION GÉNÉRALE DES PROGRAMMES
DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION DES SERVICES TECHNIQUES

OTTAWA
JUIN 1985
ENVIRONNEMENT CANADA

Publication
distribuée par le Service des publications
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8

Édition française de
Morpholine
préparée par le Module d'édition française

English copy available at the above mentioned address

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1985
N° de cat. En 48-10/31-1985F
ISBN 0-662-93301-X
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

AVANT-PROPOS

La collection «Enviroguide» a été lancée officiellement en 1983. Elle est constituée de guides d'information technique sur les produits chimiques qui sont les plus souvent en cause dans les cas de déversements accidentels. Les guides, qui s'adressent à des spécialistes dans le domaine des déversements, sont conçus pour aider à planifier les interventions d'urgence et évaluer les incidences sur l'environnement.

Vu la grande quantité d'information présentée et le caractère très technique des guides, ces derniers ne s'adressent pas au personnel de première intervention, pour qui existent déjà des manuels plus appropriés.

L'information offerte a été glanée en majeure partie dans des publications déjà existantes. Les auteurs ont pris grand soin, aussi bien au stade de la compilation qu'à celui de la révision, de vérifier la justesse des éléments retenus. Néanmoins, il ne faut pas voir dans la publication de ces éléments d'information une forme de recommandation de la part du gouvernement du Canada ni de quelque autre groupe.

REMERCIEMENTS

La version définitive du présent guide est l'oeuvre du personnel du Service de la protection de l'environnement, qui a procédé à la refonte de nombreux passages du texte initial, ajouté maints renseignements et commentaires et préparé les schémas et les figures.

Le travail préliminaire avait été donné à contrat par Environnement Canada aux firmes M.M. Dillon Consulting Engineers and Planners, Concord Scientific Corporation et Waterloo Engineering Limited.

L'abondance de détails qu'on trouve dans le guide est le fruit de la collaboration de plusieurs personnes, organismes et institutions qui ont fourni des données et des conseils précieux, au stade de la compilation comme au stade de la rédaction. Sous ce rapport, l'Association canadienne des fabricants de produits chimiques mérite des remerciements particuliers.

TABLE DES MATIÈRES

	Avant-propos	III
	Remerciements	III
	Liste des figures	VII
	Liste des tableaux	VII
	Abréviations et symboles	VIII
	Définitions	X
	Sigles	XI
1	**Résumé**	
2	**Propriétés physiques et chimiques**	
3	**Production, transport et commerce**	
3.1	Qualité et titre du produit	8
3.2	Fabricants situés au Canada	8
3.3	Fournisseurs	8
3.4	Principaux itinéraires de transport	8
3.5	Volume de production	8
3.6	Principales utilisations au Canada	9
3.7	Principaux acheteurs au Canada	9
4	**Manutention du produit et compatibilité**	
4.1	Citernes et autres récipients d'expédition	10
4.1.1	Transport en vrac	10
4.1.1.1	Wagons-citernes	10
4.1.1.2	Véhicules-citernes routiers	10
4.1.2	Transport en fûts	10
4.2	Déchargement	10
4.2.1	Équipement et procédés de déchargement des wagons-citernes	10
4.2.2	Matériaux de fabrication des organes de déchargement et spécifications	14
4.3	Compatibilité entre le produit et certains matériaux	17
5	**Fuite et migration du produit**	
5.1	Aperçu général	18
5.2	Fuite du produit	18
5.2.1	Introduction	18
5.2.2	Nomogrammes des fuites	18
5.2.2.1	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps	18
5.2.2.2	Débit de fuite en fonction du temps écoulé	19
5.2.3	Exemples de calcul	19
5.3	Diffusion dans l'atmosphère	19
5.3.1	Introduction	19
5.3.2	Nomogrammes de la diffusion du panache de vapeurs	21
5.3.2.1	Débit d'émission des vapeurs en fonction du rayon de la nappe et de la température	21
5.3.2.2	Teneur en vapeurs en fonction de la distance sous le vent	25
5.3.2.3	Demi-largeur maximale du panache dangereux	29
5.3.2.4	Distance parcourue par le panache en fonction du temps écoulé	29
5.3.3	Étapes du calcul	29
5.4	Comportement dans l'eau	34
5.4.1	Introduction	34
5.4.2	Nomogrammes de la diffusion du polluant dans l'eau	34
5.4.2.1	Diffusion dans les cours d'eau non soumis aux marées	35
5.4.2.2	Diffusion dans les lacs au repos et autres plans d'eau	35
5.4.3	Exemples de calcul	45
5.4.3.1	Teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées	45

5.4.3.2	Teneur en polluant dans les lacs au repos et autres plans d'eau	45
5.5	Comportement dans le sol de surface et dans le sous-sol	45
5.5.1	Introduction	45
5.5.2	Migration du polluant dans un sol à capacité au champ	46
5.5.3	Coefficient de perméabilité d'un sol saturé vis-à-vis du polluant	46
5.5.4	Types de sol	46
5.5.5	Nomogrammes de la migration	49
5.5.6	Exemple de calcul	49
6	**Protection de l'environnement**	
6.1	Limites maximales admissibles	53
6.1.1	Qualités de l'eau	53
6.1.2	Qualités de l'air	53
6.2	Toxicité pour les espèces aquatiques	53
6.2.1	Évaluation de la toxicité aux États-Unis	53
6.2.2	Mesure de la toxicité	53
6.3	Toxicité pour les mammifères	54
6.4	Études sur les effets toxiques	54
6.5	Dégradation du polluant	54
6.6	Introduction du polluant dans l'environnement	55
6.7	Devenir et effets à long terme	55
7	**Protection de la santé**	
7.1	Normes d'exposition recommandées	56
7.2	Données sur les propriétés irritantes	57
7.2.1	Contact avec la peau	57
7.2.2	Contact avec les yeux	57
7.3	Données sur les propriétés organoleptiques	57
7.3.1	Odeur	57
7.3.2	Goût	58
7.4	Études sur les effets toxiques	58
7.4.1	Inhalation	58
7.4.2	Ingestion	58
7.4.3	Administration par voie intrapéritonéale	59
7.4.4	Contact avec la peau	59
7.4.5	Mutagénicité, tératogénicité et carcinogénicité	59
7.5	Symptômes et conséquences de l'intoxication	60
7.5.1	Inhalation (symptômes)	60
7.5.2	Ingestion (symptômes)	60
7.5.3	Contact avec la peau (symptômes)	60
7.5.4	Contact avec les yeux (symptômes)	60
7.6	Toxicité des produits de décomposition ou de combustion pour l'homme	60
7.6.1	Oxyde nitrique, dioxyde d'azote, tétraoxyde d'azote, monoxyde de carbone et dioxyde de carbone	60
8	**Compatibilité chimique**	
8.1	Compatibilité entre la morpholine et divers agents	62
9	**Mesures d'intervention et de sécurité**	
9.1	Mesures recommandées	64
9.1.1	Danger d'incendie	64
9.1.2	Moyens d'extinction	64
9.1.3	Mesures d'intervention en cas de déversement	64
9.1.3.1	Information générale	64
9.1.3.2	Déversement sur le sol	64
9.1.3.3	Déversement dans l'eau	64
9.1.4	Nettoyage et traitement	65
9.1.4.1	Déversement dans l'eau	65

9.1.4.2	Information générale	65
9.1.5	Élimination du polluant	65
9.1.6	Appareils et vêtements de protection	65
9.1.7	Entreposage	66
10	**Cas de déversement accidentel**	67
10.1	Information générale	
11	**Identification et dosage du polluant**	68
11.1	Dosage du polluant présent dans l'air	68
11.1.1	Chromatographie en phase gazeuse	69
11.2	Identification du polluant présent dans l'air	69
11.3	Dosage du polluant présent dans l'eau	69
11.3.1	Colorimétrie	69
11.4	Identification du polluant présent dans l'eau	69
11.5	Dosage du polluant présent dans le sol	69
11.5.1	Spectroscopie infrarouge	70
11.6	Identification du polluant présent dans le sol	
12	**Références et bibliographie**	71
12.1	Références	75
12.2	Bibliographie	

LISTE DES FIGURES

1 Pression de vapeur en fonction de la température 6
2 Masse volumique du liquide en fonction de la température 6
3 Viscosité des solutions 7
4 Diagramme de phases 7
5 Wagon-citerne de spécification 111A60W1 13
6 Fûts types 15
7 Wagon-citerne perforé au-dessous du niveau du liquide 19
8 Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé 20
9 Débit de fuite en fonction du temps écoulé 20
10 Formation d'un panache de vapeurs 22
11 Étapes à suivre pour déterminer la zone dangereuse 23
12 Débit d'émission de vapeurs à différentes températures en fonction du rayon de la nappe 24
13 Teneur uniformisée en vapeurs en fonction de la distance sous le vent 26
14 Conversion des unités de la TLV® (ppm en g/m^3) 27
15 Conversion en g/m^3 du % volumique de la limite inférieure d'inflammabilité ... 28
16 Distance parcourue par le panache en fonction du temps écoulé 31
17 Zone dangereuse maximale sous un vent invariable 33
18 Zone dangereuse maximale sous un vent variable 33
19 Étapes à suivre pour calculer la teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées 36
20 Distance en fonction du temps 37
21 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal 38
22 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique 39
23 Alpha en fonction du coefficient de distribution turbulente 40
24 Delta en fonction de alpha 41
25 Teneur maximale en fonction de delta 42
26 Volume d'eau en fonction du rayon hydraulique 43
27 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau 44
28 Migration dans le sous-sol 47
29 Plan d'utilisation des nomogrammes 48
30 Migration dans un sable grossier 50
31 Migration dans un sable limoneux 51
32 Migration dans un till argileux 52

LISTE DES TABLEAUX

1 Nomogrammes de la conversion 5
2 Spécifications CCT/DOT déterminant les modèles de wagons-citernes utilisés pour le transport de la morpholine 11
3 Caractéristiques du wagon-citerne de spécification 111A60W1 12
4 Caractéristiques des fûts utilisés pour le transport de la morpholine 14
5 Compatibilité entre le produit et certains matériaux de fabrication 16
6 Abréviations des noms de matériaux de fabrication 17
7 Catégories météorologiques (de stabilité) 25
8 Demi-largeur maximale du panache dangereux de vapeurs de morpholine (à 20 °C) 30

ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

adf	Antidéflagrant
atm	Atmosphère
c.f.	Coupelle fermée
c.o.	Coupelle ouverte
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
d	Densité
d vap	Densité de vapeur
d.-v.	Demi-vie
D ext.	Diamètre extérieur
D int.	Diamètre intérieur
DAMM	Diamètre aérodynamique moyen en masse
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
D_e	Diamètre d'entrée
DIF	Détecteur d'ionisation à flamme
DMM	Diamètre moyen en masse
DMN	Diamètre moyen en nombre
DMV	Diamètre moyen en volume
DPI	Détecteur à photo-ionisation
D_s	Diamètre de sortie
DL min.	Dose létale minimale
DL 50	Dose létale moyenne
et coll.	et collaborateurs
eV	Électronvolt
f. n. éq.	Fumée normalisée équivalente
gal imp.	Gallon impérial
IDLH	*Immediately Dangerous to Life or Health*
IR	Infrarouge
j	jour
J	Joule
K	Coefficient de perméabilité
l	litre
L.I.E.	Limite inférieure d'explosibilité
L.I.I.	Limite inférieure d'inflammabilité
L.S.E.	Limite supérieure d'explosibilité
L.S.I.	Limite supérieure d'inflammabilité
m	Masse
MAK	Teneur maximale admissible (norme établie par la RFA)
MAK-K	Teneur maximale admissible (norme établie par la RDA)
MAK-D	Teneur maximale admissible – courte durée (norme établie par la RDA)
max.	Maximum
mé/l	Milliéquivalent par litre
MIK	Teneur maximale d'immission (norme établie par la RDA)
min.	Minimum
mn	Minute
M mol.	Masse molaire
M vol.	Masse volumique
mol	Mole
MPT	Moyenne pondérée en fonction du temps
N	Newton
Pa · s	Pascal seconde
pds éq.	Poids équivalent
ppb	Parties par milliard (10^{-9})
ppm	Parties par million (10^{-6})
ppt	Parties par mille (10^{-3})
psi	*Pounds per square inch*
P	Pression
P_c	Pression critique
PEL	*Permissible Exposure Limit*
Po	Poise
Pt cong.	Point de congélation
Pt déf.	Point de déflagration
Pt dét.	Point de détonation
Pt ébul.	Point d'ébullition
Pt écl.	Point d'éclair
Pt écoul.	Point d'écoulement
Pt fus.	Point de fusion
Pt liq.	Point de liquéfaction
PVC	Chlorure de polyvinyle
q	Débit
q_e	Débit d'entrée
q_f	Débit de fuite
q_m	Débit-masse
q_s	Débit de sortie
q_v	Débit-volume
std	Standard
SM	Spectroscopie de masse
St	Stokes
STEL	*Short Term Exposure Limit*
t	Tonne
t	Temps
temp.	Température
$temp._c$	Température critique
TE 50	Teneur efficace moyenne
tf	Tonne forte
TI 50	Teneur inhibitrice moyenne
TLm	Tolérance moyenne
TL min.	Teneur létale minimale
TL 50	Teneur létale moyenne
TLV®	*Threshold Limit Value*
TLV®C	*Threshold Limit Value-Ceiling*
TPN	Température et pression normales

TT min.	Teneur toxique minimale
u	Vitesse du vent
μ	Viscosité
vap	Vapeur
V	Vitesse d'écoulement
V biod.	Vitesse de biodégradation
V évap.	Vitesse d'évaporation
vol.	Volume
^{o}Bé	Degré Baumé
^{o}C	Degré Celsius
ϕ	Diamètre
x	Distance sous le vent
⚒	Ne pas utiliser d'eau comme moyen d'extinction

DÉFINITIONS

Les définitions figurant ci-dessous valent pour la collection «Enviroguide». Le lecteur notera qu'elles n'ont pas toujours une portée générale. Pour plus de détails, ou pour d'autres définitions, se reporter au manuel d'introduction de la collection.

Bio-accumulation. – Rétention sans cesse croissante d'une substance dans les tissus d'un organisme tout au long de son existence (le facteur de bioconcentration augmentant sans cesse).

Bio-amplification. – Rétention d'une substance dans les tissus à des teneurs de plus en plus élevées au fur et à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie des organismes de la chaîne alimentaire.

Bioconcentration. – Rétention d'une substance dans les tissus d'un organisme au point que la teneur des tissus en cette substance surpasse la teneur du milieu ambiant en cette substance, à un moment donné de la vie de cet organisme.

Concentration. – Comme ce mot a des sens multiples et parfois mal définis selon qu'il s'agit de chimie, de biologie ou d'écologie, on lui a préféré des termes jugés plus précis, tels titre, teneur et bioconcentration.

Contaminant. – Polluant qui figure sur une liste de produits dangereux, établie en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement.

Dose létale minimale. – Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la dose définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible dose (autre que la DL 50) d'une substance dont l'absorption, excluant l'inhalation, en une ou plusieurs prises, au bout d'un temps donné, a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. DL min.

Dose létale moyenne (1). – Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la dose qui tue, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. DL 50.

Dose létale moyenne (2). – À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la dose (calculée) d'une substance censée entraîner, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'absorption, excluant l'inhalation, d'une quantité de cette substance par un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. DL 50.

Dose toxique minimale. – La plus faible dose d'une substance, introduite par toute autre voie que l'inhalation, pendant quelque période de temps que ce soit, dont l'absorption a été signalée comme cause d'effet toxique chez des personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. DT min.

Facteur de bioconcentration. – Rapport de la teneur en une substance des tissus d'un organisme exposé (moins la teneur des tissus d'un organisme témoin) à la teneur en cette substance du milieu ambiant.

IDLH *(Immediately Dangerous to Life or Health)*. – Teneur plafond à laquelle, dans un délai maximal d'exposition de 30 minutes, il est possible à une personne de fuir les lieux exposés sans qu'il n'y ait manifestation de signes fonctionnels d'intoxication, perturbation irréversible de la santé ou décès. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Immission. – Transfert d'un polluant de l'atmosphère vers un «récepteur» qui peut être une personne, un animal, une plante. La teneur maximale d'immission, mentionnée au chapitre 7, se rapporte au polluant retenu dans les poumons. Il s'agit d'un concept d'origine allemande, adopté par l'ISO.

Létal. – En toxicologie, synonyme de mortel.

MAK *(Maximale Arbeidsplatz Konzentration)*. – Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RFA.

MAK-D. – Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

MAK-K. – Teneur limite admissible en milieu de travail pour une période très courte ne dépassant pas 30 minutes. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

PEL *(Permissible Exposure Limit)*. – Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle peuvent être exposés des travailleurs pendant une période de relève. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Polluant. – Agent physique, chimique ou biologique qui provoque une dégradation dans un milieu donné.

STEL (TLV – *Short Term Exposure Limit*). – Teneur limite à laquelle les travailleurs peuvent être exposés de façon continue pour une courte période sans souffrir d'irritation, de dommage irréversible aux tissus ou d'une narcose suffisamment grave pour accroître la probabilité de blessure par accident, diminuer la capacité de fuir ou réduire physiquement l'efficacité au travail, en prenant pour acquis que la TLV quotidienne n'a pas été dépassée. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

Teneur. – Quantité de matière solide, liquide ou gazeuse, rapportée à une masse ou à un volume d'autres matières dans lesquelles elle est en mélange, suspension ou dissolution.

Teneur efficace moyenne. – Dans le cas de la toxicité pour la micro-faune, il s'agit de la teneur à laquelle se produit, chez 50 p. 100 de la population, pour une durée d'exposition donnée, un effet tel que l'immobilisation, la perte de l'équilibre, une déficience de croissance ou même la mort. Abrév. TE 50.

Teneur inhibitrice moyenne. – Dans le cas de la toxicité pour la micro-flore ou la micro-faune, il s'agit de la toxicité qui inhibe à 50 p. 100 une activité biologique (par exemple, la croissance) en un temps déterminé. Abrév. TI 50.

Teneur létale minimale. – Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la teneur définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible teneur (autre que la TL 50) de l'air en une substance dont l'inhalation a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. TL min.

Teneur létale moyenne (1). – Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la teneur à laquelle meurent, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. TL 50.

Teneur létale moyenne (2). – À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la teneur (calculée) de l'air en une substance dont l'inhalation est censée provoquer, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'exposition d'un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. TL 50.

Teneur plafond. – Teneur maximale admissible établie pour une durée d'exposition bien déterminée, dans le cas d'une substance très toxique. (L'IDLH et la TLV®-C sont des teneurs plafonds.)

Teneur toxique minimale. – La plus faible teneur de l'air en une substance à laquelle des personnes ou des animaux ont été exposés, pour quelque période de temps que ce soit, sans qu'il y ait eu d'effet toxique chez les personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. TT min.

Titre (d'une solution, en chimie). – Rapport de la masse d'une substance dissoute à la masse totale ou du nombre de moles d'un constituant au nombre total de moles.

TLV® *(Threshold Limit Value).* – Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle la majorité des travailleurs peuvent être exposés régulièrement à raison de 8 heures par jour, 5 jours par semaine, sans subir d'effet nocif. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

TLV®-C *(Threshold Limit Value-Ceiling).* – Teneur limite admissible pour un moment donné. Il s'agit d'une valeur plafond définie et déterminée par l'ACGIH.

Tolérance moyenne. – Niveau de tolérance correspondant à la teneur à laquelle 50 p. 100 des sujets d'un test survivent au bout d'un temps donné. Abrév. TLm.

SIGLES

ACGIH	American Conference of Government Industrial Hygienists
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWQC	Ambient Water Quality Criteria (USA)
AWWA	American Water Works Association
CBG	Chemical Buyers' Guide (USA)
CCD	Condensed Chemical Dictionary (USA)
CCPA	Canadian Chemical Producers Association
CCT	Commission canadienne des transports
CHRIS	Chemical Hazards Response Information System (USA)
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
ITII	International Technical Information Institute (Japon)
MCA	Manufacturing Chemists Association (USA)
MDT	Ministère des Transports (du Canada)
NACE	National Association of Corrosion Engineers (USA)
NAS	National Academy of Sciences (USA)
NFPA	National Fire Protection Association (USA)
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NRC	National Research Council (USA)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (USA)

1 RÉSUMÉ

Morpholine (C_4H_8ONH)

La morpholine se présente comme un liquide huileux et incolore, dégageant une odeur semblable à celle du poisson et de l'ammoniac.

Synonymes

Oxyde de diéthylèneimide; diéthylèneimidoxyde; p-isoxazine, tétrahydro-; 1-oxa-4-azacyclohexane; 2H-1,4-oxazine, tétrahydro-; 4H-1,4-oxazine, tétrahydro; tétrahydro-1,4 isoxazine; tétrahydro-1,4 oxazine; tétrahydro-2H-1,4 oxazine.

Numéros d'identification

UN 2054; CAS 110-91-8; OHM-TADS 7216806; STCC 4907864, 4935668 ou 4907397.

Qualité et titre

Technique: 99 p. 100 et plus.

Dangers immédiats

Incendie. – La morpholine est inflammable. Un retour de flamme peut se produire le long de la traînée de vapeurs.

Effets sur l'homme. – La morpholine est très toxique par absorption cutanée et modérément toxique par inhalation.

Effets sur l'environnement. – La morpholine est nocive pour les espèces aquatiques.

Données relatives aux propriétés physiques

État (15 °C, 1 atm)	Liquide
Point d'ébullition	128,9 °C
Point de fusion	-4,9 °C
Inflammabilité	Inflammable
Point d'éclair	35 °C (coupelle fermée)
Pression de vapeur	0,93 kPa (20 °C)
Densité relative	1,0005 g/ml (20 °C)
Solubilité (dans l'eau)	Complètement soluble
Comportement (dans l'eau)	Flottabilité neutre selon les conditions; se mélange rapidement
Comportement (dans l'air)	Vapeurs plus lourdes que l'air
Plage du seuil olfactif	0,01 à 0,14 ppm

Danger pour l'environnement

La morpholine est toxique pour les espèces aquatiques à des teneurs de 100 mg/l. La morpholine se décompose à une vitesse moyenne.

Dangers pour l'homme

Teneur maximale admissible (TLV®) établie par l'ACGIH: 20 ppm (70 mg/m^3) (épiderme).

Teneur immédiatement dangereuse pour la vie ou la santé (IDLH) établie par le NIOSH: 8000 ppm.

Effets en cas d'inhalation. – Irritation des voies respiratoires. L'inhalation provoque la toux, des maux de tête, des nausées et rend la respiration difficile.

Effets en cas de contact. – Le contact avec l'épiderme cause des irritations et des brûlures; absorbée, la morpholine cause des maux de tête et des nausées. Le contact avec les yeux peut provoquer une irritation, un obscurcissement temporaire de la vue, des brûlures et un oedème de la cornée.

Dispositions immédiates à prendre

• En cas de déversement

Interdire l'accès aux lieux où s'est produit l'accident. Signaler: «Produit inflammable». Appeler les pompiers. Prévenir le fabricant. Éliminer les causes possibles d'inflammation; interrompre la circulation automobile et le fonctionnement des appareils. Arrêter l'écoulement et confiner la nappe de liquide, si cela ne présente aucun danger. Éviter tout contact avec le liquide et les vapeurs qu'il dégage. Se tenir face au vent, la nappe derrière soi. Empêcher toute eau polluée d'atteindre un égout ou un cours d'eau.

• En cas d'incendie

Utiliser de la mousse d'alcool, du dioxyde de carbone, des pulvérisations ou des brouillards d'eau pour éteindre les flammes. Refroidir avec de l'eau les récipients exposés aux flammes. Les récipients peuvent exploser à la chaleur du feu. Se tenir éloigné des extrémités des citernes.

Mesures d'intervention d'urgence

• Morpholine répandue sur le sol

Construire des barrages pour confiner la nappe ou la diriger vers des surfaces imperméables. Enlever le produit au moyen de pompes ou d'aspirateurs. Absorber ce qui reste à l'aide de sorbants synthétiques ou naturels.

• Morpholine déversée dans l'eau

Confiner la nappe au moyen de barrages, de dispositifs de dérivation ou d'obstacles naturels. Utiliser du phosphate diacide de sodium pour neutraliser les eaux polluées.

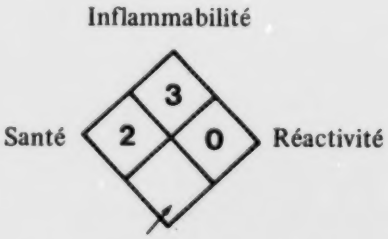
• Morpholine évaporée dans l'air

Utiliser un jet d'eau pour abattre les vapeurs. Confiner l'eau de ruissellement afin de pouvoir l'épurer ou l'enlever par la suite.

Niveau de gravité du risque selon la NAS (étatsunienne)

(Catégorie)	(Niveau)
Incendie	3
Santé	
Irritation causée par des vapeurs	1
Irritation causée par le produit à l'état liquide ou solide	1
Intoxication	1
Pollution de l'eau	
Toxicité pour l'homme	2
Toxicité pour les espèces vivantes du milieu aquatique	2
Atteinte à l'esthétique de l'environnement	2
Réactivité	
Autres produits chimiques	3
Eau	0
Réaction spontanée	0

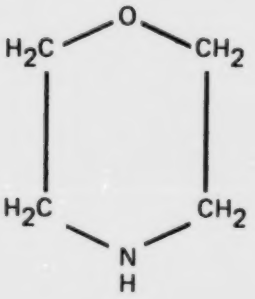
Évaluation du risque selon la NFPA (étatsunienne)



Champ inférieur vide: utiliser l'eau comme moyen d'extinction

2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Formule développée

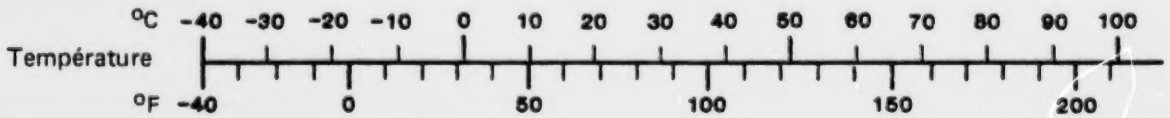


Divers	
Aspect	Liquide incolore (Verschueren, 1984)
État à l'expédition	Liquide (Verschueren, 1984)
État d'agrégation (15 °C, 1 atm)	Liquide
Variables d'état	
Point de congélation	-4,9 °C (Kirk-Othmer, 1978)
Point d'ébullition	128,9 °C (Kirk-Othmer, 1978)
Pression de vapeur	0,93 kPa (20 °C) (Union Chem., 1976)
Masse volumique et densité	
Masse volumique	1,0005 g/cm^3 (20 °C) (PPCC, 1955) 0,994 g/cm^3 (25 °C) (PPCC, 1955)
Densité relative du liquide (eau = 1)	1,002 (20°/20 °C) (Union Chem., 1976) 1,00 (20°/4 °C) (Verschueren, 1984)
Densité relative des vapeurs (air = 1)	3,0 (Ashland MSDS, 1978)
Propriétés relatives à la combustion	
Inflammabilité	Liquide inflammable (NFPA, 1978)
Point d'éclair	
Coupelle fermée	35 °C (Kirk-Othmer, 1978)
Coupelle ouverte	38 °C (NFPA, 1978)
Température d'inflammation spontanée	310 °C (NFPA, 1978); 470 °C (Ullmann, 1975)
Vitesse de combustion	1,9 mm/mn (CHRIS, 1978)
Limite supérieure d'inflammabilité	11,2 p. 100 (vol./vol.) (NFPA, 1978) 15,2 p. 100 (vol./vol.) (Ullmann, 1975)
Limite inférieure d'inflammabilité	2,0 p. 100 (vol./vol.) (NFPA, 1978) 1,8 p. 100 (vol./vol.) (Ullmann, 1975)
Risque de retour de flamme	Les vapeurs peuvent parcourir une distance considérable jusqu'à une source d'allumage et provoquer un retour de flamme.
Risque d'allumage électrique	Peut s'enflammer sous l'effet d'une charge d'électricité statique.
Autres propriétés	
Masse moléculaire de la substance	87,12 (CCR, 1980)
Composition caractéristique de la qualité commerciale	99,0 p. 100 (min.) de morpholine, 0,5 p. 100 (max.) d'eau (Ashland TD, 1980)

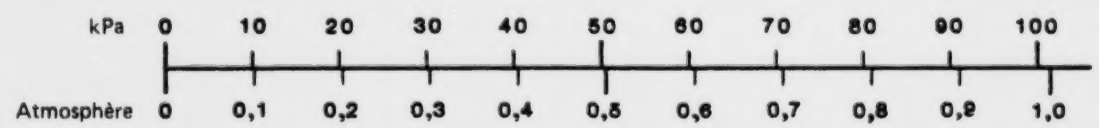
Indice de réfraction	1,4548 (20 °C) (CRC, 1980)
Viscosité	2,23 mPa . s (20 °C) (Merck, 1976) 1,52 mPa . s (40 °C) (PPCC, 1955)
Tension superficielle avec l'air	37,5 mN/m (20 °C) (Kirk-Othmer, 1978)
Hygroscopicité	Hygroscopique (NFPA, 1978)
Chaleur latente de sublimation	43,96 kJ/mol (25 °C) (Kirk-Othmer, 1978)
Chaleur latente de vaporisation	37,03 kJ/mol (128,3 °C) (Kirk-Othmer, 1978)
Chaleur de formation	-154,8 kJ/mol (20 °C) (Benson, 1958)
pH des solutions	13 (liquide pur), 12 (solution à 26 p. 100) (ISH, 1977)
Capacité thermique massique à pression constante	174 J/(mol . °C) (25 °C) (Kirk-Othmer, 1978)
Pression critique	5302 kPa (Ullmann, 1975)
Température critique	344 °C (Ullmann, 1975)
Log_{10} du coefficient de partage octanol/eau	-1,08 (Hansch et Leo, 1979)
Constante diélectrique	7,18 (Kirk-Othmer, 1978)
Moment dipolaire	1,58 D (Kirk-Othmer, 1978)
Conductivité (électrique)	6,0 x 10^{10} ohm^{-1} cm^{-1} (Kirk-Othmer, 1978)
Vitesse d'évaporation	0,27 g/(m^2s) (20 °C, vent 4,5 m/s) (dans le présent ouvrage)
Solubilité	
Dans l'eau	Soluble dans toutes les proportions (Union Chem., 1976)
Dans d'autres substances communes	Extrêmement soluble dans l'acétone, le benzène, l'éther butylique, l'éthanol, l'éthylèneglycol, le diéthyléther et le méthanol. Soluble dans la méthylamine (33 g/100 ml) et la diméthylamine (109 g/100 ml) (ISH, 1977).
Azéotropes	La morpholine forme des azéotropes composés de 12 p. 100 d'eau et de 88 p. 100 de morpholine, avec un point de congélation de -50 °C (Ullmann, 1975).
Facteur de conversion	
pour les vapeurs	1 ppm = 3,617 mg/m^3 (Verschueren, 1984)

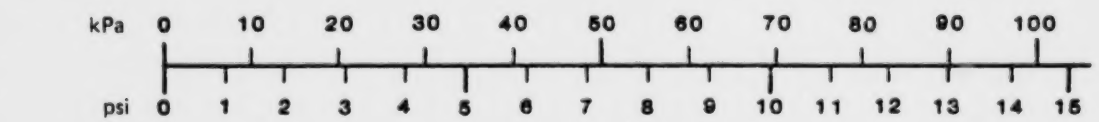
Tableau 1

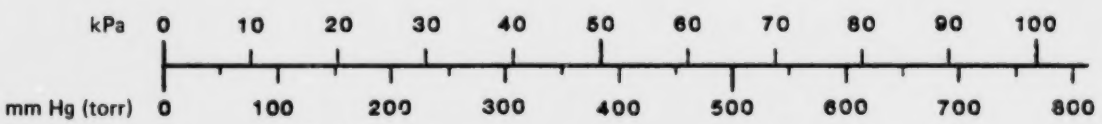
MORPHOLINE **NOMOGRAMMES DE LA CONVERSION**



Pression 1 kPa = 1 000 Pa







Viscosité

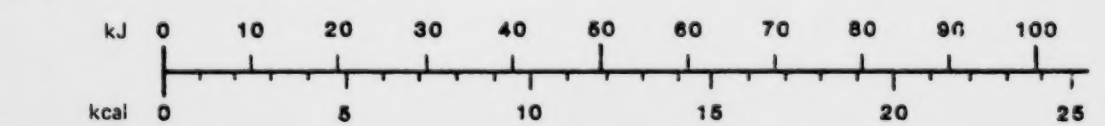
Dynamique 1 Pa·s = 1 000 centipoises (cPo)

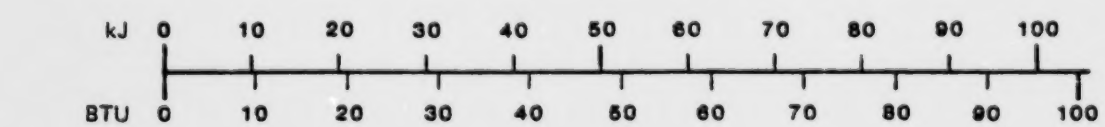
Cinématique 1 m^2/s = 1 000 000 centistokes (cSt)

Teneur (de l'eau)

1 ppm ≅ 1 mg/l

Énergie (chaleur) 1 kJ = 1 000 J





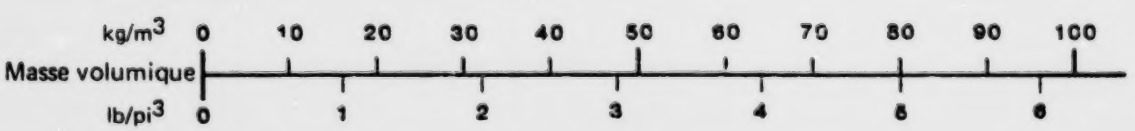


Figure 1

MORPHOLINE

PRESSION DE VAPEUR EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: Chris, 1978

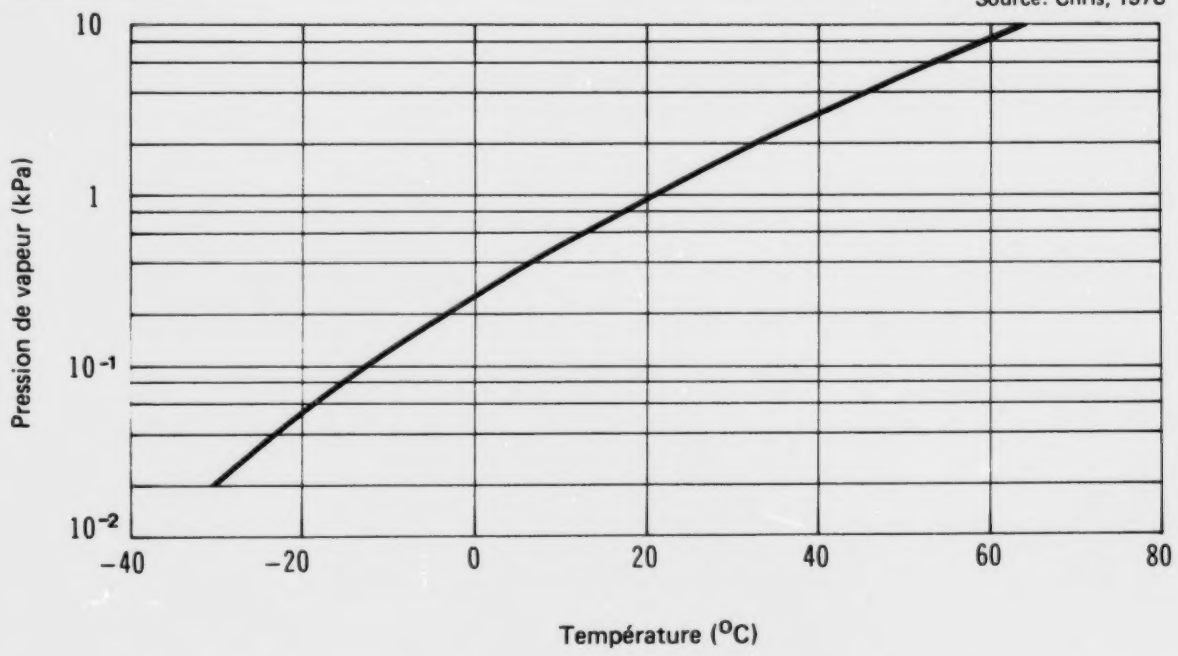


Figure 2

MORPHOLINE

MASSE VOLUMIQUE DU LIQUIDE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: Chris, 1978

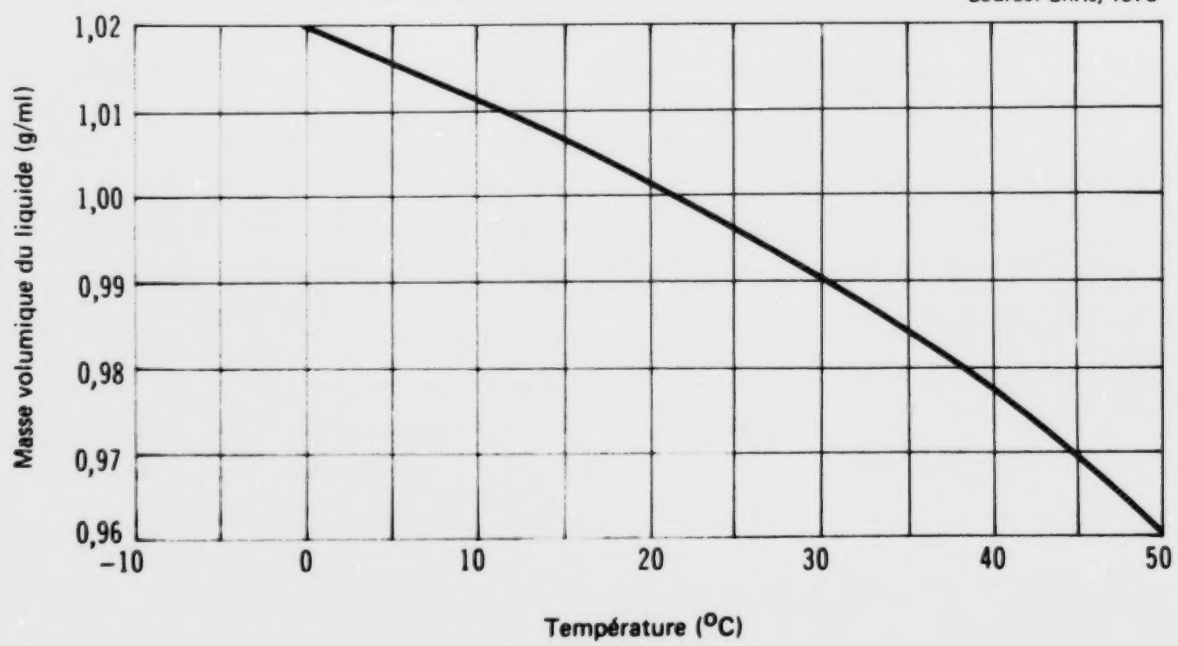


Figure 3

MORPHOLINE (solution aqueuse) — **VISCOSITÉ DES SOLUTIONS**

Source: ISH, 1977

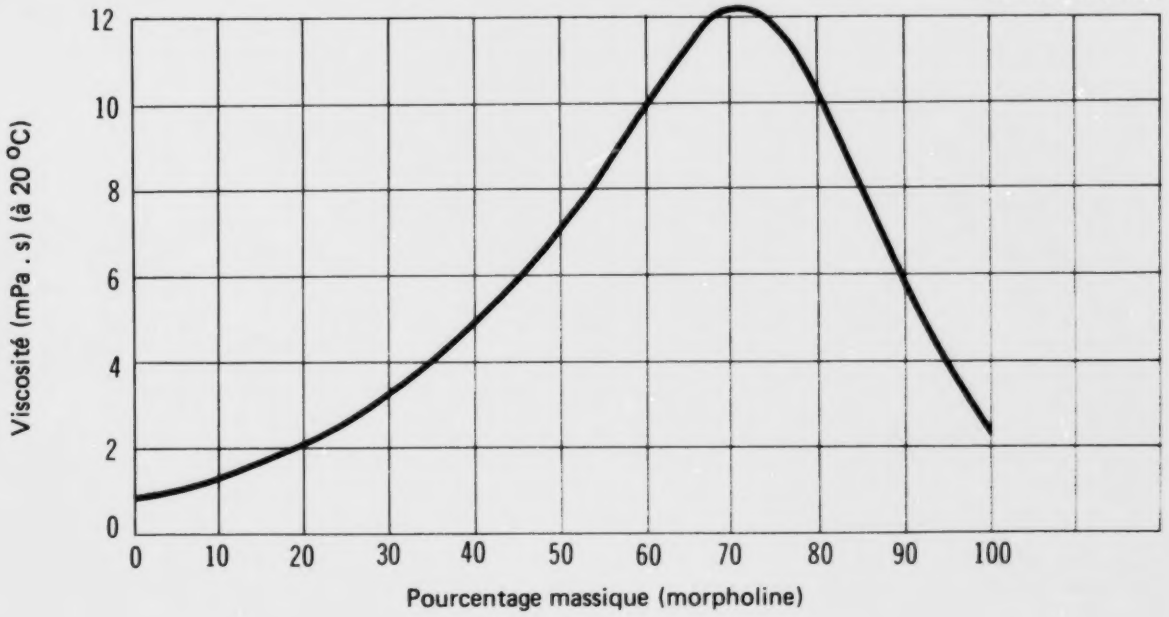
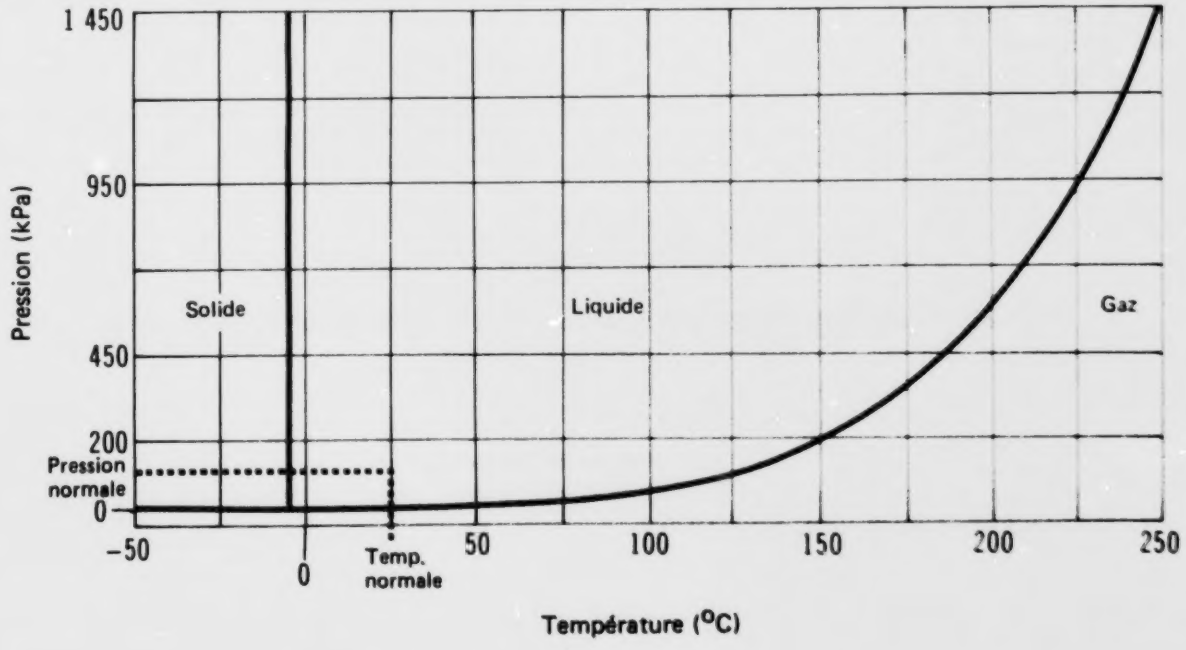


Figure 4

MORPHOLINE — **DIAGRAMME DE PHASES**



3 PRODUCTION, TRANSPORT ET COMMERCE

3.1 Qualité et titre du produit

La morpholine que l'on trouve sur le marché est de qualité technique, ce qui correspond à une teneur minimale de 99 p. 100 (Ashland MSDS, 1978; Corpus, 1979).

3.2 Fabricants situés au Canada

Aucune morpholine n'est produite au Canada; elle est importée des États-Unis, du Royaume-Uni et de la RFA (Corpus, 1979).

3.3 Fournisseurs

La morpholine est importée par les importateurs canadiens suivants (CBG, 1980; CCPA, 1981):

A & K Petro-Chem Industries Ltd., 710 Arrow Road, Weston, Ontario, M9M 2M1, (416) 746-2991
Arliss Chemical Co. Inc., 325, boul. Hymus, Pointe-Claire, Québec, H9R 1G8, (514) 694-2170
Ashland Chemical/Solvents Division, Valvoline Oil/and Chem., 150 Bronoco Avenue, Toronto, Ontario, M6E 4Y1, (416) 651-2822
BASF Canada Ltd., 5850 Côte de Liesse, Montréal, Québec, H4T 1C1, (514) 341-5411
Bate Chemical Co. Ltd., 160 Lesmill Road, Don Mills, Ontario, M3B 2T7, (416) 445-7050
Canada Colours and Chemicals Ltd., 80 Scarsdale Road, Don Mills, Ontario, M3B 2R7, (416) 924-6831
Canadian Industries Ltd. (C-I-L), General Chemicals Division, 90 Sheppard Avenue East, Willowdale, Ontario, M2N 6H2, (416) 226-6110
Ciscochem Inc., 63 Selby Road, Brampton, Ontario, L6W 1K5, (416) 459-4540
Cote Chemicals Inc., 111, Parc Bombardier, Chateauguay Centre, Québec, J6J 3X0, (514) 691-6260
Harrisons & Crosfield (Canada) Ltd., 4 Banigan Drive, Toronto, Ontario, M4H 1G1, (416) 425-6500
International Chemical Canada Ltd., P.O. Box 385, Brampton, Ontario, L6V 2L3, (416) 453-4234
Kingsley & Keith (Canada) Ltd., 310, avenue Victoria, Montréal, Québec, H3Z 2M8, (514) 487-1550
Stanchem Div PPG Ind. Canada Ltd., 5029, rue St-Ambroise, Montréal, Québec, H4C 2E9, (514) 933-6721
Ternachem Inc., 310, avenue Victoria, suite 101, Montréal, Québec, H3Z 2M9, (514) 487-2227
Texaco Chemicals Canada Ltd., 250 Lakeshore Road West, Mississauga, Ontario, L5G 4M6, (416) 271-1702

3.4 Principaux itinéraires de transport

La morpholine est distribuée principalement en fûts à partir de Montréal (Québec) et Toronto (Ontario) aux entreprises de l'Ontario et du Québec.

3.5 Volume de production

Aucune usine canadienne ne produit de la morpholine. Les importations, en 1977, se sont chiffrées à 399 kilotonnes (Corpus, 1979).

3.6 Principales utilisations au Canada

La morpholine est utilisée comme amine dans le traitement des eaux usées, comme inhibiteur de corrosion, comme intermédiaire dans la production de caoutchouc synthétique, et dans la production des encaustiques, des cires et des nettoyeurs en poudre, ainsi que des produits pharmaceutiques (Corpus, 1979).

3.7 Principaux acheteurs au Canada (Corpus, 1979)

Alchem, Burlington, Ont.
Betz Laboratories, Kanata, Ont.
Calgon Canada, Bramalea, Ont.
Dearborn Chemical, Mississauga, Ont.
Drew Chemical, Ajax, Ont.
McArthur Chemical, Montréal, Qc
Ontario Hydro, Toronto, Ont.
Perolin-Bird Archer, Cobourg, Ont.
Quadra Chemicals, Montréal, Qc
Quatic Chemicals, Guelph, Ont.
Uniroyal, Elmira, Ont.

4 MANUTENTION DU PRODUIT ET COMPATIBILITÉ

4.1 Citernes et autres récipients d'expédition

4.1.1 Transport en vrac. – La morpholine est rarement transportée en vrac. Elle est surtout transportée dans des fûts. Le transport en vrac se fait par wagons-citernes et véhicules-citernes routiers.

4.1.1.1 Wagons-citernes. – Les wagons-citernes utilisés pour le transport de la morpholine sont décrits au tableau 2 (RTDCR, 1974). Un wagon-citerne de spécification 111A60W1, utilisé pour le transport de la morpholine, est illustré à la figure 5; les caractéristiques de ce wagon-citerne sont indiquées au tableau 3. Le déchargement se fait par pompage ou par l'action de la pesanteur par un orifice de déchargement par le bas. L'orifice du bas peut être muni d'une chemise à vapeur pour le déchargement par temps froid. La citerne peut aussi être déchargée par le haut au moyen d'une pompe. Dans ce cas, le liquide passe par une canalisation de déchargement qui va du bas de la citerne à la plate-forme de dôme où elle se termine par un robinet de raccord de déchargement. L'air comprimé n'est jamais utilisé pour le déchargement de ces wagons-citernes (MCA, 1979).

4.1.1.2 Véhicules-citernes routiers. – La morpholine est transportée dans des véhicules-citernes routiers équipés de citernes qui ne sont pas sous pression (TDGC, 1980). La pression nominale de ces citernes ne dépasse pas 21 kPa (3 lb/po^2). Les véhicules-citernes routiers utilisés pour le transport de la morpholine sont semblables aux wagons-citernes décrits ci-dessus. Ces véhicules-citernes sont généralement déchargés au moyen de pompes par une canalisation de déchargement par le haut. L'équipement et les procédés de déchargement des véhicules-citernes routiers sont semblables à ceux des wagons-citernes (voir 4.2.1).

4.1.2 Transport en fûts. – La morpholine est surtout transportée en fûts. Des fûts en divers matériaux peuvent être utilisés (TDGC, 1980). Ces fûts sont décrits au tableau 4.

4.2 Déchargement

4.2.1 Équipement et procédés de déchargement des wagons-citernes. – Avant de procéder au déchargement, il importe de prendre les précautions suivantes (MCA, 1970):

- Vérifier que le réservoir de stockage à évent peut recevoir le contenu du wagon-citerne;
- Si le chargement se fait la nuit, les dispositifs d'éclairage doivent être antidéflagrants;
- Les employés ne doivent en aucun cas pénétrer dans le wagon-citerne;
- Les freins doivent être serrés et les roues, calées; les dérailleurs doivent être en place et les écriteaux d'avertissement, affichés;
- Un quai de service offrant toutes les conditions de sécurité doit exister au point de déchargement;
- Les outils utilisés au cours du déchargement ne doivent pas produire d'étincelles;
- Le wagon-citerne doit être pourvu d'une mise à la terre.

Deux modes de déchargement sont possibles, soit le déchargement par le haut et le déchargement par le bas.

Tableau 2

Spécifications CCT/DOT déterminant les modèles de wagons-citernes utilisés pour le transport de la morpholine

N° de la spécification	Matériau de fabrication de la citerne	Isolation	Pression d'épreuve kPa (psi)	Dôme	Orifice de déchargement par le bas	Orifice de vidange par le bas	Indicateur de niveau
103W	Acier	Facultative	414 (60)	Requis	Facultatif	Facultatif	Facultatif
103ALW	Alliage d'aluminium	Facultative	414 (60)	Requis	Facultatif	Facultatif	Facultatif
104W	Acier	Facultative	414 (60)	Requis	Facultatif	Facultatif	Facultatif
105A100W	Acier	Requise	690 (100)	Aucun	Interdit	Interdit	Standard
105A100ALW	Alliage d'aluminium	Requise	690 (100)	Aucun	Interdit	Interdit	Standard
109A100ALW	Alliage d'aluminium	Facultative	690 (100)	Aucun	Interdit	Facultatif	Standard
111A60W1	Acier	Facultative	414 (60)	Aucun	Facultatif	Facultatif	Requis
111A60ALW1	Alliage d'aluminium	Facultative	414 (60)	Aucun	Facultatif	Facultatif	Requis
111A60F1	Acier	Facultative	414 (60)	Aucun	Facultatif	Facultatif	Requis
111A100W3	Acier	Requise	690 (100)	Aucun	Facultatif	Facultatif	Requis
111A100W4	Acier	Requise	690 (100)	Aucun	Interdit	Interdit	Requis
111A100W6	Alliage d'acier	Facultative	690 (100)	Aucun	Facultatif	Facultatif	Requis
112A200W	Acier	Aucune	1380 (200)	Aucun	Interdit	Interdit	Standard
112A400F	Acier	Aucune	2760 (400)	Aucun	Interdit	Interdit	Standard
114A340W	Acier	Aucune	2340 (340)	Aucun	Facultatif	Facultatif	Standard

Tableau 3
Caractéristiques du wagon-citerne de spécification 111A60W1
(TCM, 1979; RTDCR, 1974)

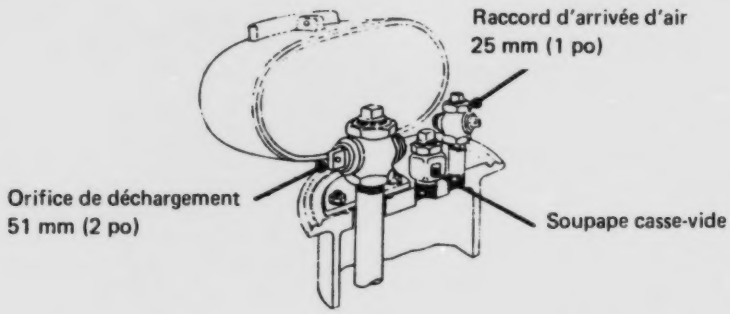
Description	Capacité nominale de la citerne (gal imp.)		
	16 700	17 200	20 000
Structure			
Capacité nominale	75 700 l (16 700 gal)	78 000 l (17 200 gal)	90 900 l (20 000 gal)
Tare (poids à vide)	33 900 kg (74 700 lb)	33 900 kg (74 700 lb)	38 900 kg (85 800 lb)
Masse brute maximale	119 000 kg (263 000 lb)	83 500 kg (184 000 lb)	119 000 kg (263 000 lb)
Citerne			
Matériau	Acier	Acier	Acier
Épaisseur	11,1 mm (7/16 po)	11,1 mm (7/16 po)	11,1 mm (7/16 po)
Diamètre intérieur	2,60 m (102 po)	2,62 m (103 po)	2,74 m (108 po)
Pression d'épreuve	414 kPa (60 psi)	414 kPa (60 psi)	414 kPa (60 psi)
Pression d'éclatement	1 640 kPa (240 psi)	1 640 kPa (240 psi)	1 640 kPa (240 psi)
Dimensions approximatives			
Longueur avec organes d'attelage	17 m (57 pi)	17 m (57 pi)	18 m (60 pi)
Longueur avec pylônes de choc	16 m (53 pi)	16 m (53 pi)	17 m (57 pi)
Longueur entre les pivots de bogie	13 m (42 pi)	13 m (42 pi)	14 m (45 pi)
Hauteur au sommet du caillebotis	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)
Hauteur hors-tout	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)
Largeur hors-tout (avec poignées)	3,2 m (127 po)	3,2 m (127 po)	3,2 m (127 po)
Longueur du caillebotis	2-3 m (8-10 pi)	2-3 m (8-10 pi)	2-3 m (8-10 pi)
Largeur du caillebotis	1,5-2 m (5-6 pi)	1,5-2 m (5-6 pi)	1,5-2 m (5-6 pi)
Déchargement par le haut			
Raccord de déchargement	51 mm (2 po)	51 mm (2 po)	51 mm (2 po)
Orifice de remplissage/ trou d'homme	203-356 mm (8-14 po)	203-356 mm (8-14 po)	203-356 mm (8-14 po)
Raccord d'arrivée d'air	25-51 mm (1-2 po)	25-51 mm (1-2 po)	25-51 mm (1-2 po)
Déchargement par le bas			
Orifice de déchargement par le bas	102-152 mm (4-6 po)	102-152 mm (4-6 po)	102-152 mm (4-6 po)
Dispositifs de sécurité	Évent ou soupape de sécurité	Évent ou soupape de sécurité	Évent ou soupape de sécurité
Dôme	Aucun	Aucun	Aucun
Isolation	Facultative	Facultative	Facultative

Figure 5

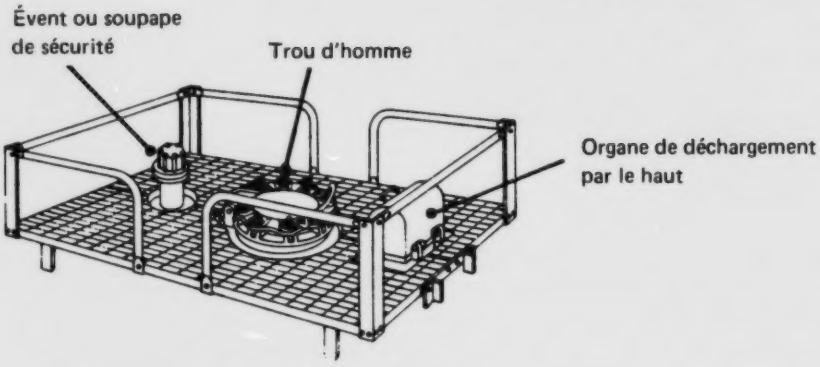
MORPHOLINE

WAGON-CITERNE DE SPÉCIFICATION 111A60W1

(Sources: TCM, 1979; RTDCR, 1974)



Détail des organes de déchargement par le haut



Détail de la plate-forme de dôme

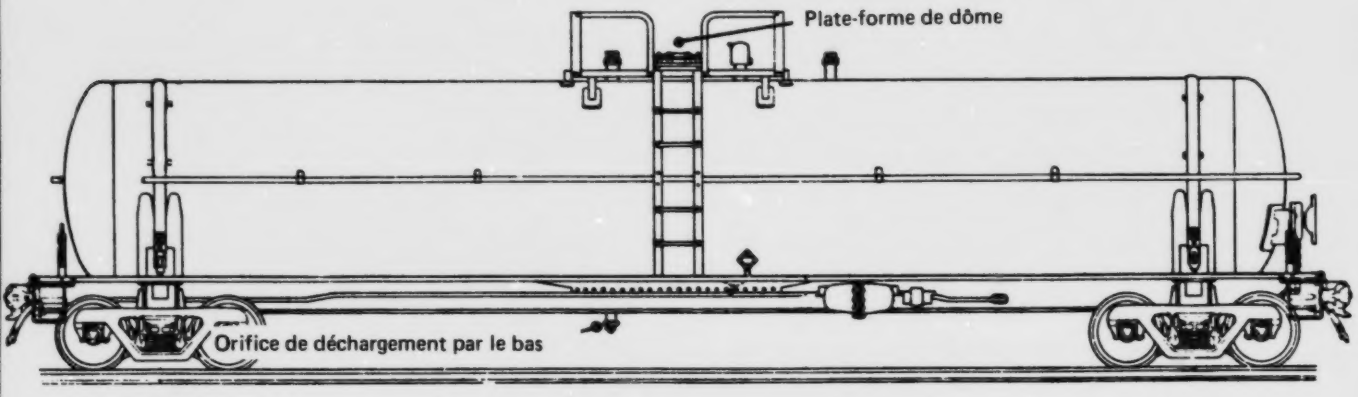


Tableau 4
Caractéristiques des fûts utilisés pour le transport de la morpholine

Type de fût	N° de code	Description	Figure
Acier	1A1	Dessus non amovible; réutilisable	6
	1A1A	1A1 avec rebords renforcés	6
	1A1B	1A1 avec collerette de fermeture soudée	6
	1A1D	1A1 avec revêtement intérieur (autre que le plomb)	6
	1A2	Dessus amovible; réutilisable	6
	1A3	Dessus non amovible; non réutilisable	6
Aluminium	1B1	Dessus non amovible	6
	1B2	Dessus amovible	6
Fût en acier avec récipient intérieur en matière plastique	6HA1	Tôle extérieure en acier en forme de fût. Récipient intérieur en matière plastique. Contenance de 225 litres (49 gal).	
Fût en carton avec récipient intérieur en matière plastique	6HG1	Récipient extérieur en carton de fabrication convolute (plusieurs épaisseurs enroulées concentriquement). Récipient intérieur en matière plastique en forme de fût. Contenance de 225 litres (49 gal).	

Pour le déchargement par le haut, suivre les étapes suivantes (PC, 1982):

- Réduire la tension de vapeur en refroidissant le wagon-citerne par ventilation ou aspersion d'eau, à intervalles rapprochés;
- Après avoir retiré le manchon de protection de l'organe de déchargement situé sur le dessus du wagon, raccorder la canalisation de déchargement de 51 mm (2 po);
- Décharger la citerne par pompage seulement.

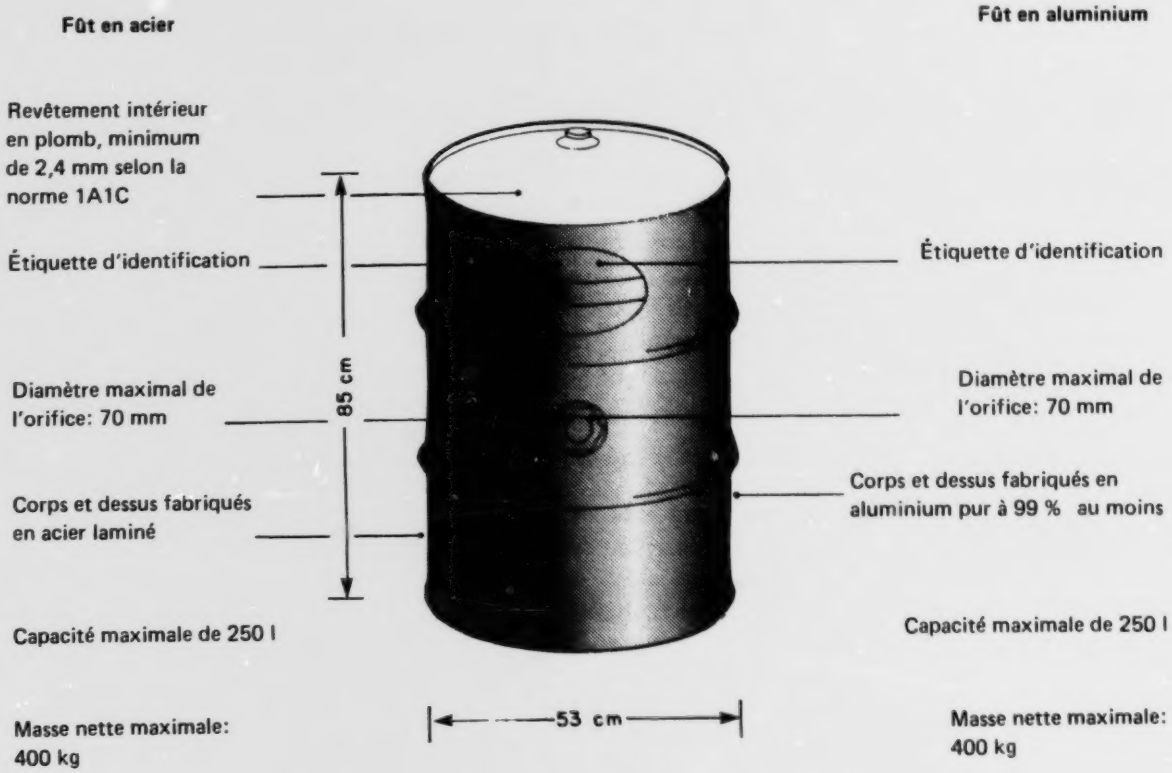
Pour le déchargement par le bas, procéder par l'action de la pesanteur ou par pompage de la façon suivante:

- Par temps froid, réchauffer à la vapeur le raccord de déchargement par le bas, ainsi que les soupapes des raccords du serpentin à vapeur;
- Réduire la tension interne en procédant de la façon indiquée ci-dessus;
- Après avoir raccordé la canalisation de déchargement à un orifice situé dans le bas de la citerne, ouvrir le robinet intérieur du bas en tournant la tige de commande située sur le dessus du wagon-citerne;
- Décharger le wagon par l'action de la pesanteur ou au moyen d'une pompe.

4.2.2 Matériaux de fabrication des organes de déchargement et spécifications. – Les matériaux de fabrication des divers éléments des organes de déchargement de même que les spécifications relatives à ces organes sont ceux qui prévalent généralement dans le transport de la morpholine. Dans certains cas, d'autres matériaux peuvent être utilisés, comme il est indiqué au tableau 5. Les éléments d'un système de déchargement type comprennent les conduites et les raccords, les tuyaux flexibles, les soupapes, les garnitures et les pompes.

Figure 6

MORPHOLINE — **FÛTS TYPES**



Les conduites et les raccords en acier allié sans soudure ASTM A106 n^{o} 40 avec garnitures chemisées avec des résines de polyéther chloré sont recommandés pour les conduites de déchargement de la morpholine (DCRG, 1978). Il faudra utiliser des joints à brides soudées de préférence aux conduites et aux raccords filetés qui ont tendance à fuir après un service de courte durée. La réduction de la contrainte aux points de soudure permettra une plus longue durée de service. Les canalisations doivent faire l'objet d'un essai à l'air comprimé à des pressions allant de 345 à 518 kPa (50 à 75 psi) et toutes les fuites doivent être soigneusement colmatées.

La conduite de déchargement doit avoir un diamètre de 51 mm (2 po) puisque c'est la taille standard des raccords sur les wagons-citernes utilisés pour le transport de la morpholine, mais les autres conduites peuvent être de n'importe quel diamètre. On déconseille toutefois l'utilisation de conduites dont le diamètre est inférieur à 25 mm (1 po). L'auto-drainage est indispensable pour les conduites extérieures.

Des joints de dilatation flexibles du type à soufflet devraient être utilisés pour les sections flexibles de la tubulure de déchargement. Ils sont fabriqués en brides de fer ductile ASA avec des organes expansibles moulés en résine de tétrafluoroéthylène (DOW PPS, 1972). Certaines conduites flexibles sont constituées de raccords chemisés standards avec coudes vissés.

Tableau 5
Compatibilité entre le produit et certains matériaux de fabrication

Utilisation	Produit chimique		Recommandé	Réserves	Déconseillé
	Teneur (s)	Temp. (^{o}C)			
1. Conduites et raccords	Toutes	24	Polyéther chloré PVDF (DCRG, 1978)		
		66	PP (DCRG, 1978)		
2. Pompes	Toutes	Presque toutes	Fer ductile, acier au carbone (PC, 1982)		
3. Autres	Toutes	60	PE, PP, POM, caoutchouc d'iso-butylène-isoprène, EPDM, poly-chloroprène, caoutchouc fluoré, polyéthylène chlorosulfoné (GF)	uPVC (GF), aciers au carbone (Kirk-Othmer, 1978)	Caoutchouc naturel, caoutchouc d'acrylonitrile-butadiène, cuivre, alliages de cuivre (Kirk-Othmer, 1978)
		Presque toutes	Acier inox 304 ou 316 (Kirk-Othmer, 1978)		
	100	24 à 100	Verre (CDS, 1967), acier inox 316 (ASS)		

Les soupapes à diaphragme en fonte ou en acier coulé avec revêtement intérieur en résine de polyéther chloré ou en résine de fluorure de polyvinylidène donnent un service adéquat (DOW PPS, 1972). À des températures normales, le viton peut être utilisé comme matériau de garniture (DCRG, 1978).

Une pompe centrifuge à admission unilatérale à entraînement magnétique dépourvue de joint étanche dont l'extrémité d'admission est faite d'acier au carbone donne de bons résultats (PC, 1982). Il faut prévoir un moyen de purger la pompe afin que les réparations puissent être faites en toute sécurité.

La plupart des pompes rotatives et centrifuges peuvent être utilisées, mais elles doivent être équipées de paliers lubrifiés à l'extérieur (Kirk-Othmer, 1978).

Les réservoirs d'entreposage en acier au carbone sont généralement acceptables. S'il faut respecter des normes de couleur élevées, l'acier inox 304 ou 316 est recommandé. La morpholine réagit avec le cuivre et ses alliages; les raccords ne doivent donc pas en contenir. Les réservoirs doivent être chemisés avec de l'azote pour éviter l'absorption d'eau ou de gaz acides de l'air (Kirk-Othmer, 1978).

4.3 Compatibilité entre le produit et certains matériaux

La compatibilité entre la morpholine et certains matériaux de fabrication est indiquée au tableau 5. Le système d'évaluation est décrit brièvement ci-dessous. Les abréviations sont expliquées au tableau 6.

Recommandé: Le matériau donnera un rendement satisfaisant pour l'utilisation indiquée.

Avec réserves: Le matériau montrera des signes de détérioration pour l'utilisation indiquée; peut convenir pour utilisation intermittente ou de courte durée.

Déconseillé: L'utilisation indiquée entraînera une grave détérioration du matériau; ce dernier est donc déconseillé.

Tableau 6
Abréviations des noms de matériaux

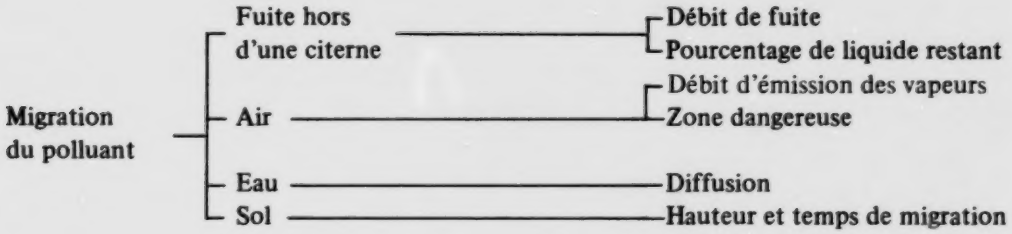
EPDM	Caoutchouc d'éthylène-propylène
PE	Polyéthylène
POM	Polyoxyméthylène
PP	Prolypropylène
PVDF	Fluorure de polyvinylidène
uPVC	Chlorure de polyvinyle non plastifié

5 FUITE ET MIGRATION DU PRODUIT

5.1 Aperçu général

La tension de vapeur de la morpholine est suffisamment élevée pour que les vapeurs émises par le liquide déversé se traduisent dans l'atmosphère par des teneurs non négligeables. Étant donné qu'il est miscible dans l'eau et qu'il a une flottabilité neutre à 20 °C, ce produit se mélange également avec l'eau. Déversé sur terre, il se répand à la surface et pénètre dans le sol à une vitesse qui varie selon le type de sol et le degré de saturation en eau. La migration du liquide jusqu'à la nappe phréatique peut entraîner des pollutions.

Voici les facteurs à prendre en considération lorsque de la morpholine migre dans l'air, l'eau ou le sol.



À cause du caractère approximatif des calculs dans le domaine de la migration des polluants, la méthode adoptée consiste à utiliser des estimations prudentes des paramètres critiques dans le but d'établir des prévisions qui reflètent le plus fidèlement possible les pires scénarios. En suivant cette méthode, il se peut que l'on doive poser des hypothèses différentes pour chaque milieu. Cette méthode permet donc de comparer le comportement de différents produits chimiques selon les pires scénarios à partir d'hypothèses compatibles avec chaque milieu.

5.2 Fuite du produit

5.2.1 Introduction. – La morpholine est généralement transportée dans des wagons-citernes qui ne sont pas sous pression. Les modèles de wagons-citernes varient beaucoup, de sorte que nous avons dû en choisir un en particulier pour établir les nomogrammes de la fuite. Le modèle choisi a un diamètre de 2,75 m, une longueur de 13,4 m et peut contenir environ 80 000 l.

S'il y a rupture, au-dessous du niveau du liquide, de la paroi de la citerne remplie de morpholine, tout le liquide s'écoulera sous l'action de la pesanteur. Grâce aux nomogrammes, on pourra calculer la quantité de liquide restant dans la citerne ainsi que le débit de fuite du liquide, à mesure que le temps s'écoulera. Comme les citernes ne sont pas sous pression et comme le produit est peu volatil, aucun nomogramme n'a été élaboré sur la fuite éventuelle de vapeurs par un orifice qui serait situé au-dessus du niveau du liquide.

5.2.2 Nomogrammes des fuites

5.2.2.1 Pourcentage de liquide restant en fonction du temps. – La figure 8 permet d'évaluer le pourcentage de liquide restant dans un wagon-citerne en fonction du temps écoulé depuis le moment de la rupture et en fonction d'un certain nombre de diamètres de l'orifice. Ces diamètres sont des diamètres équivalents et valent pour des orifices de toutes formes.

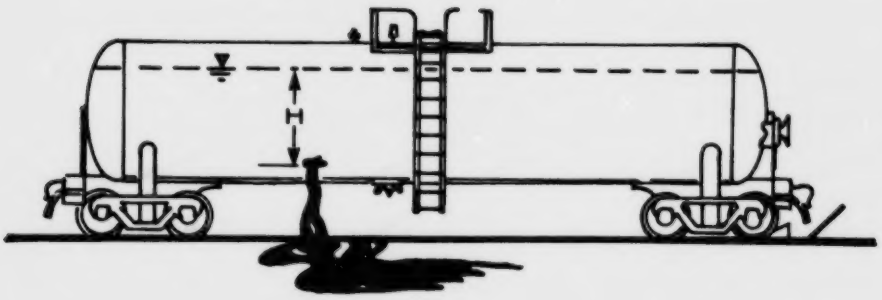


Figure 7 WAGON-CITERNE PERFORÉ AU-DESSOUS DU NIVEAU DU LIQUIDE

On suppose que le wagon-citerne type contient 80 000 litres de liquide et qu'il est plein au moment de la rupture. Le volume de liquide restant, après un temps t écoulé donné, n'est pas seulement fonction du débit de fuite, mais aussi de la taille et de la forme du wagon-citerne.

5.2.2.2 **Débit de fuite en fonction du temps écoulé.** – La figure 9 permet d'évaluer à tout instant le débit de fuite après un temps t écoulé donné, en fonction de diamètres équivalents donnés. Le nomogramme ne vaut que pour un wagon-citerne dont le contenu initial est de 80 000 litres.

5.2.3 Exemples de calcul

PROBLÈME A

Il y a eu bris d'un wagon-citerne type rempli de morpholine, L'orifice est situé dans le bas de la citerne. Son diamètre équivalent est de 150 mm. Quel pourcentage du volume initial de 80 000 l représente le volume de liquide restant après 10 minutes? Solution (voir figure 8): si t = 10 mn et D = 150 mm, le volume de liquide restant représente 36 p. 100 (soit 28 800 l) du volume initial.

PROBLÈME B

Les données du problème B étant les mêmes que celles du problème A, quel est le débit instantané après 10 minutes d'écoulement? Solution (voir figure 9): si t = 10 mn et D = 150 mm, le débit instantané q = 70 l/s.

5.3 Diffusion dans l'atmosphère

5.3.1 **Introduction.** – Comme la morpholine est un liquide relativement peu volatil, un dégagement de vapeurs dans l'atmosphère à partir d'un orifice dans la paroi d'une citerne ne présente aucun danger important du côté sous le vent. Il ne sera question dans le présent ouvrage que des vapeurs dégagées à partir d'une nappe de liquide répandu sur le sol ou à la surface de l'eau.

Figure 8

MORPHOLINE

POURCENTAGE DE LIQUIDE RESTANT
EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ

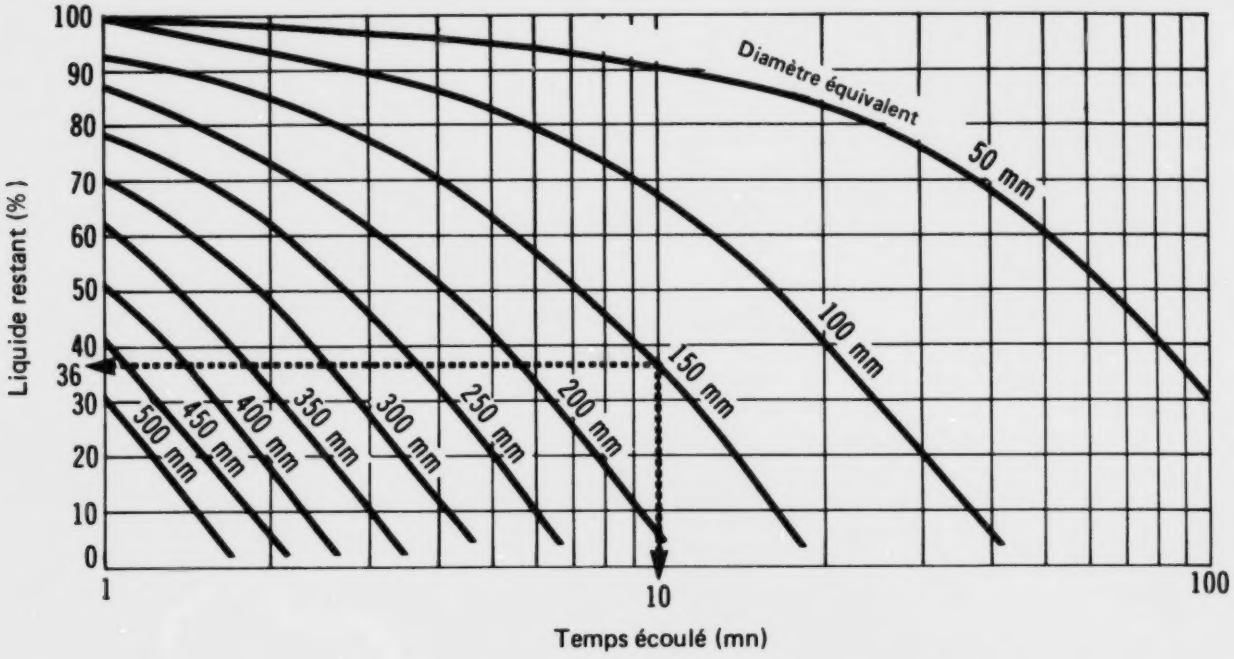
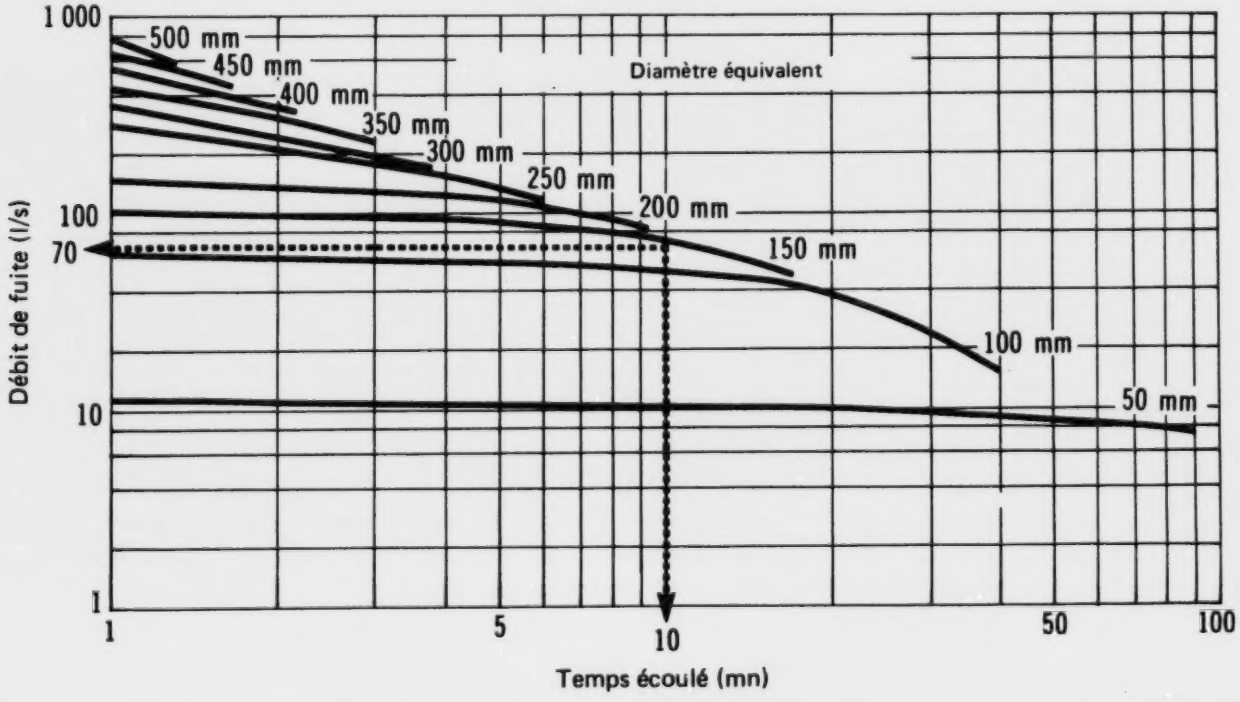


Figure 9

MORPHOLINE

DÉBIT DE FUITE
EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ



Pour évaluer les teneurs en polluant du côté sous le vent par rapport au lieu de l'accident et déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité ou de l'inflammabilité, il faut modéliser le transport et la diffusion (turbulente) dans l'atmosphère des vapeurs. Les modèles utilisés supposent une répartition gaussienne des teneurs au sein du panache; ce sont les plus répandus pour la prévision des teneurs en polluants. (Le lecteur trouvera de plus amples renseignements à ce sujet dans le guide d'introduction de la collection «Enviroguide».)

La figure 10 schématise la diffusion d'un panache polluant émis en continu par une aire source. Le modèle de diffusion assimile l'aire source, soit la nappe de liquide, à un point source théorique (possédant le même débit d'émission de vapeurs q), situé en amont, à une distance équivalant à dix fois le rayon de la nappe.

5.3.2 Nomogrammes de la diffusion du panache de vapeurs. – Les nomogrammes de la diffusion atmosphérique du panache servent à déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité et de l'inflammabilité. Les nomogrammes, figures et tableaux présentés ci-dessous apparaissent dans l'ordre dans lequel ils doivent être utilisés, comme le lecteur pourra s'en rendre compte dans les pages qui suivent.

Figure 12 Débit d'émission des vapeurs se dégageant d'une nappe liquide, calculé en fonction du rayon maximal de la nappe

Tableau 7 Catégories météorologiques (de stabilité)

Figure 13 Teneur uniformisée en vapeurs, calculée en fonction d'une distance donnée sous le vent et pour différentes catégories météorologiques

Tableau 8 Demi-largeur maximale du panache dangereux

Figure 16 Distance parcourue par le panache, calculée en fonction du temps écoulé depuis le déversement et pour différentes vitesses de vent

La figure 11 indique les étapes à suivre dans le calcul de la diffusion des vapeurs et dans le choix des nomogrammes et des tableaux à utiliser. En fait, ce sont les étapes encadrées par un pointillé qui servent dans la présente section. (Les données relatives au volume total de liquide déversé figurent à la section 5.2.) Le lecteur trouvera dans les paragraphes qui suivent l'information relative à chacun des nomogrammes de la diffusion et à son utilisation.

5.3.2.1 Débit d'émission des vapeurs en fonction du rayon de la nappe et de la température. – Le guide d'introduction de la collection fournit des équations sur la vitesse d'évaporation permettant de calculer la vitesse d'évaporation propre à la morpholine. À une température de 20 °C et sous un vent dont la vitesse est de 4,5 m/s (16,1 km/h), cette vitesse est de 0,27 g/(m^2 . s). D'autres vitesses ont été calculées à l'aide d'une équation qui, pour un vent donné, tient compte de la température ambiante et de la tension de vapeur du produit (CHRIS, 1978) à cette température. Ainsi, pour un vent dont la vitesse est de 4,5 m/s, la vitesse d'évaporation est de 0,065 g/m^2 . s à 0 °C, alors qu'elle est de 0,44 g/m^2 . s à 30 °C.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

Pour une nappe de rayon connu, le débit q d'émission des vapeurs dans l'atmosphère à une température donnée peut être évalué à l'aide de la figure 12. Les segments continus des droites représentent des quantités déversées allant de 0,3 à 80 tonnes, ce dernier chiffre correspondant à peu près au volume type de 80 000 litres (17 600 gal imp.) contenu dans un wagon-citerne chargé de morpholine. Le lecteur notera que la figure 12 vaut pour une vitesse du vent de 4,5 m/s (16,1 km/h); elle ne permet donc qu'une évaluation approximative du débit d'émission

Figure 10

MORPHOLINE — **FORMATION D'UN PANACHE DE VAPEURS**

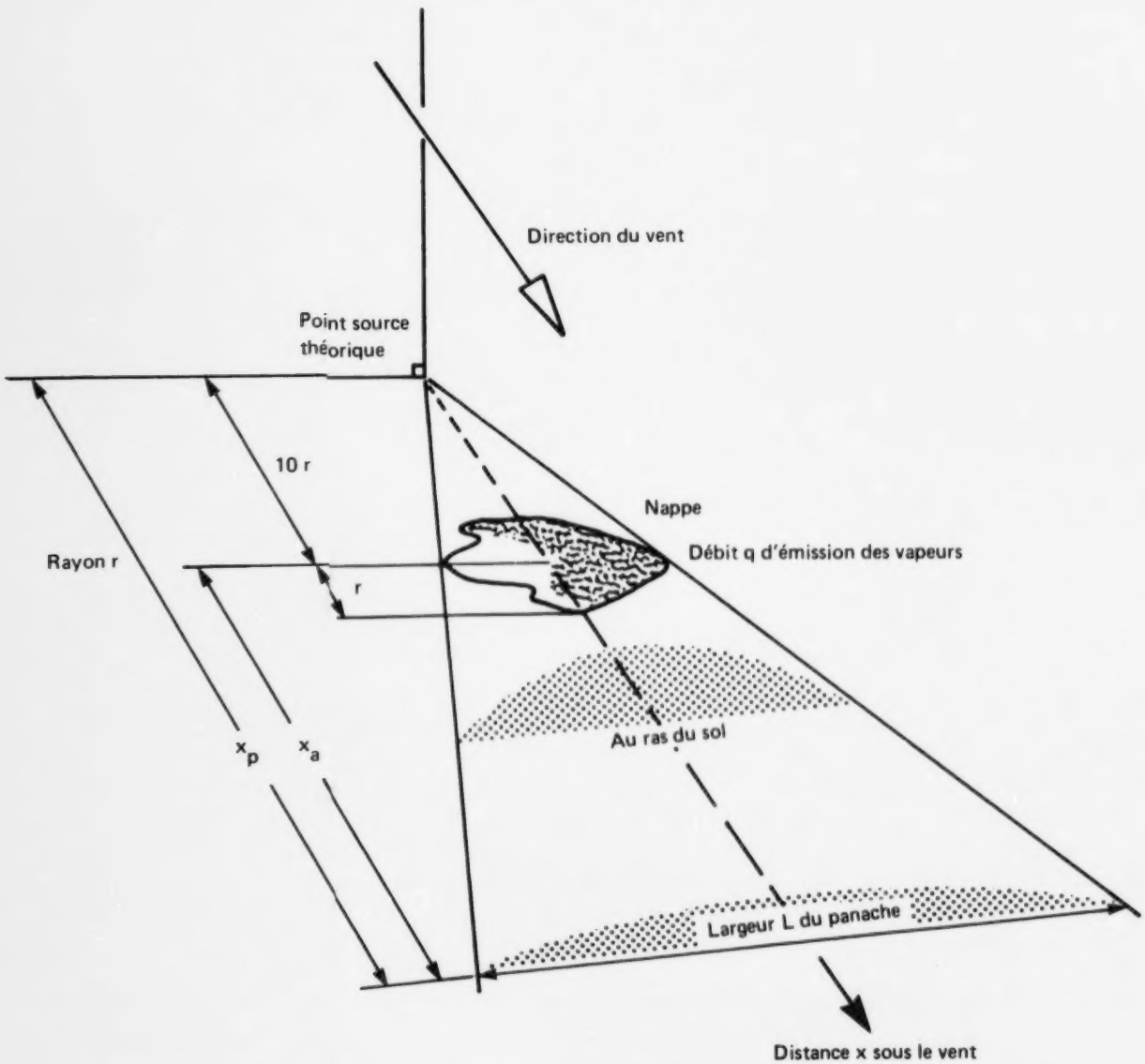


Figure 11

MORPHOLINE — **ÉTAPES À SUIVRE POUR DÉTERMINER LA ZONE DANGEREUSE**

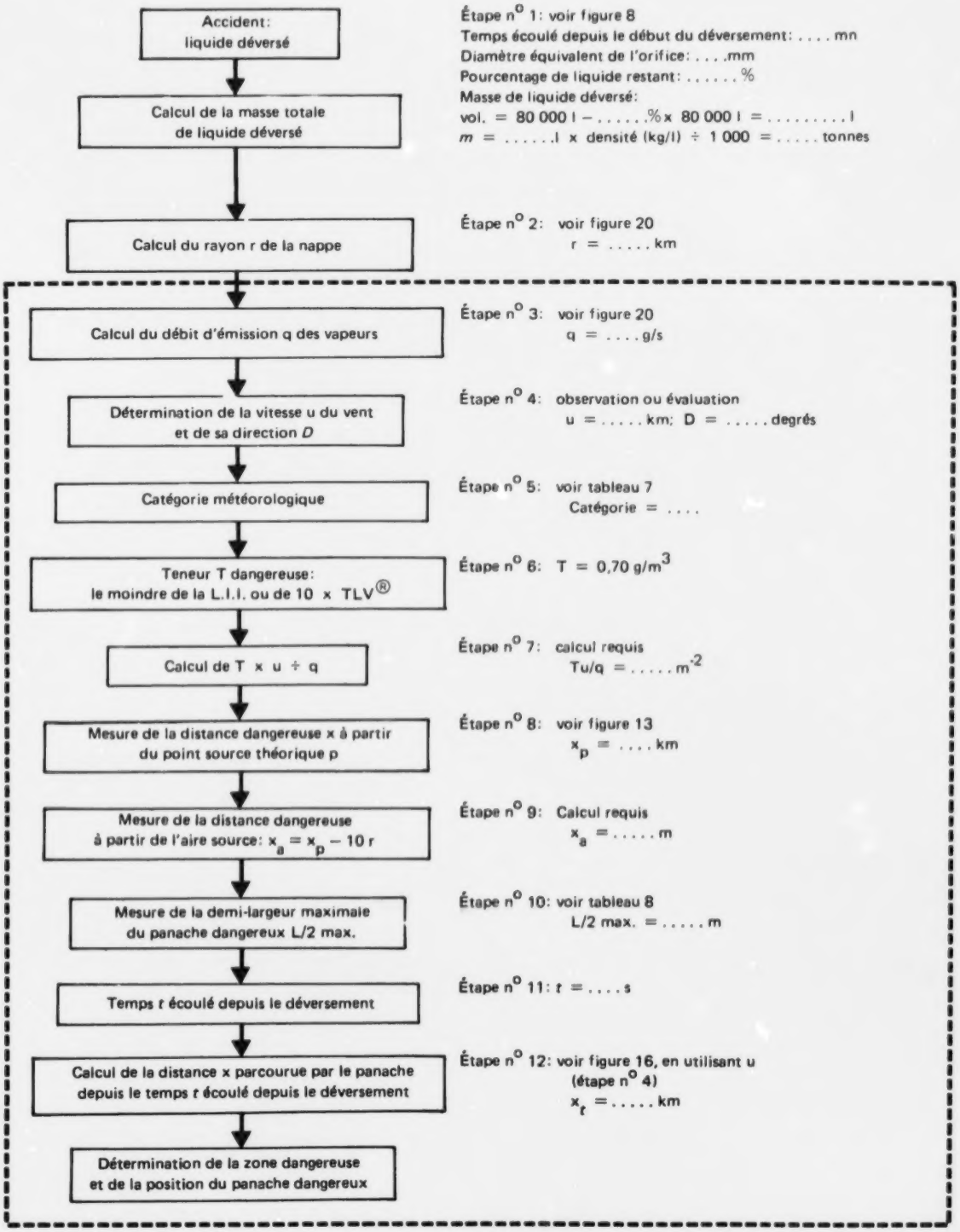
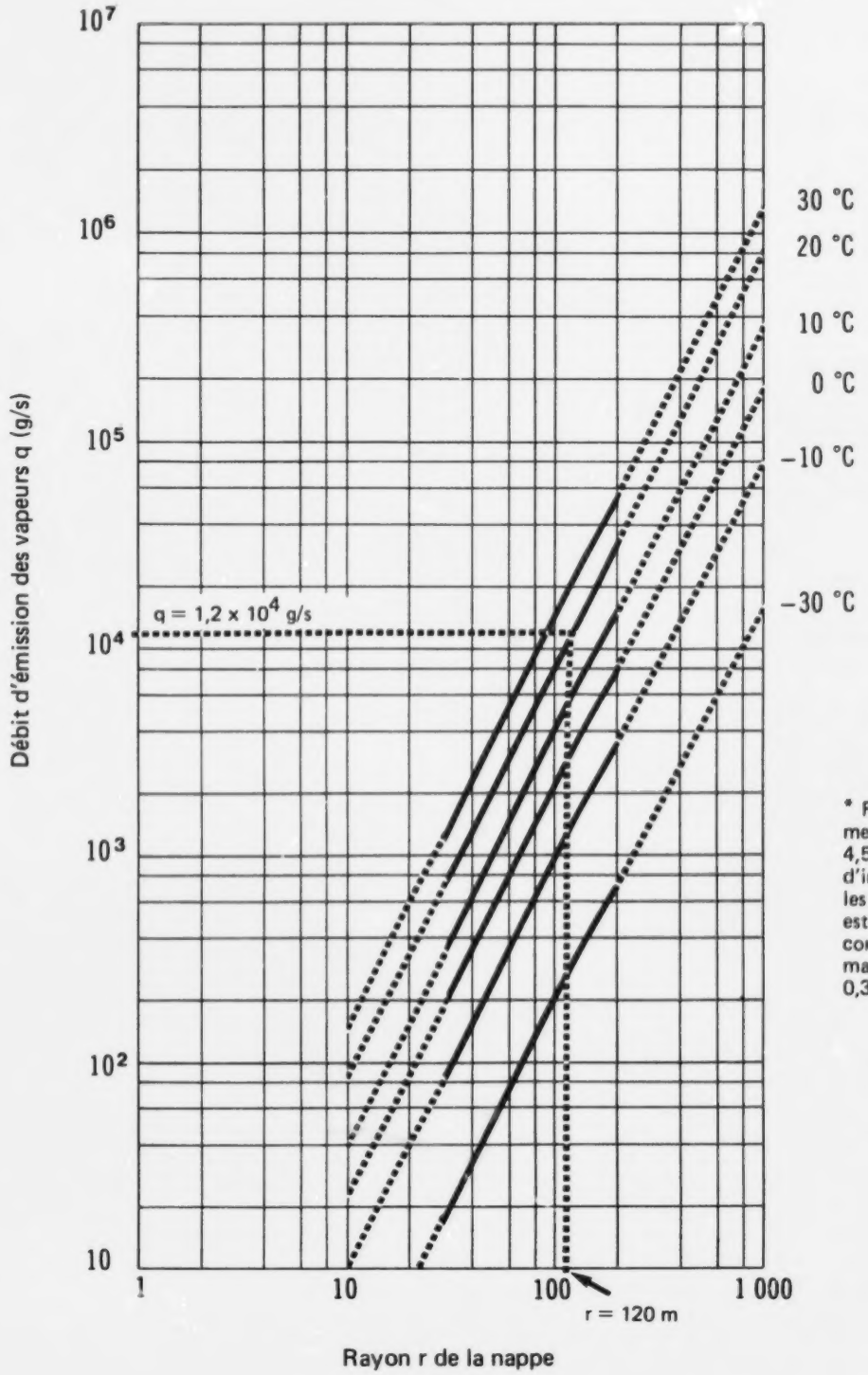


Figure 12

MORPHOLINE

DÉBIT D'ÉMISSION DES VAPEURS À DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES* EN FONCTION DU RAYON DE LA NAPPE



* Remarque. – Le nomogramme vaut pour un vent de 4,5 m/s. Voir le guide d'introduction pour convertir les valeurs si la vitesse du vent est différente. Les segments continus représentent des masses de liquide déversé de 0,3 à 80 tonnes.

pour toute autre vitesse du vent. En revanche, le guide d'introduction de la collection fournit l'équation qui permet d'établir la vitesse d'évaporation pour une vitesse de vent donnée à partir de la valeur pour une vitesse de 4,5 m/s.

Le calcul du débit d'émission est basé sur le rayon d'une nappe à la surface d'un plan d'eau (étendue d'eau calme) (tableau VI, CHRIS, 1974). Le rayon choisi est à mi-chemin entre celui du benzène (liquide modérément volatil) et celui du nitrite d'iso-amyle (liquide non volatil). Ce modèle a été choisi pour des liquides solubles dans l'eau et dont le point d'ébullition est supérieur à la température ambiante, ainsi que pour certains liquides organiques solubles ou non dans l'eau non mentionnés dans CHRIS (CHRIS, 1974). Comme un plan d'eau présente une surface plane et unie, ce qui est rarement le cas lorsqu'il y a un déversement sur terre (sol poreux et irrégulier), on obtient un rayon maximal, donc des valeurs maximales. Si l'on applique l'algorithme calculé pour un plan d'eau à un déversement sur terre, le rayon sera plus grand qu'en réalité et les valeurs obtenues seront celles qui s'appliquent à des cas extrêmes.

5.3.2.2 **Teneur en vapeurs en fonction de la distance sous le vent.** – La figure 13 illustre la relation qui existe entre la teneur en polluant, sous forme de vapeurs, et la distance sous le vent pour les catégories météorologiques D et F. Le nomogramme a été établi à l'aide des modèles de diffusion décrits dans le guide d'introduction de la collection. La teneur en vapeurs est représentée par la teneur uniformisée Tu/q au niveau du sol le long de la médiane du panache schématisé. La catégorie F est la moins propice à la diffusion du panache; la catégorie D est la plus fréquente presque partout au Canada. Il faut déterminer la catégorie appropriée (tableau 7) avant d'utiliser la figure 13.

Tableau 7
Catégories météorologiques (de stabilité)

Catégorie F	Catégorie D
Vitesse du vent < 11 km/h (≃ 3 m/s) et l'une des conditions suivantes: ciel couvert durant le jour; nuit; forte inversion de température.	Valable pour presque toutes les autres conditions.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La distance maximale dangereuse du côté sous le vent x peut être déterminée à l'aide de la figure 13, si l'on possède les données suivantes:

Débit q d'émission des vapeurs, en g/s;

Vitesse du vent u, en m/s;

Catégorie météorologique (de stabilité);

Teneur T dangereuse limite, soit la valeur la moindre entre 10 fois la TLV® (exprimée en g/m^3) et la limite inférieure d'inflammabilité (exprimée en g/m^3). À noter que pour convertir la TLV® (ppm) et la L.I.I. (pourcentage volumique) en teneurs exprimées en g/m^3, il faut utiliser les figures 14 et 15.

Figure 13

MORPHOLINE

TENEUR UNIFORMISÉE EN VAPEURS EN FONCTION DE LA DISTANCE SOUS LE VENT

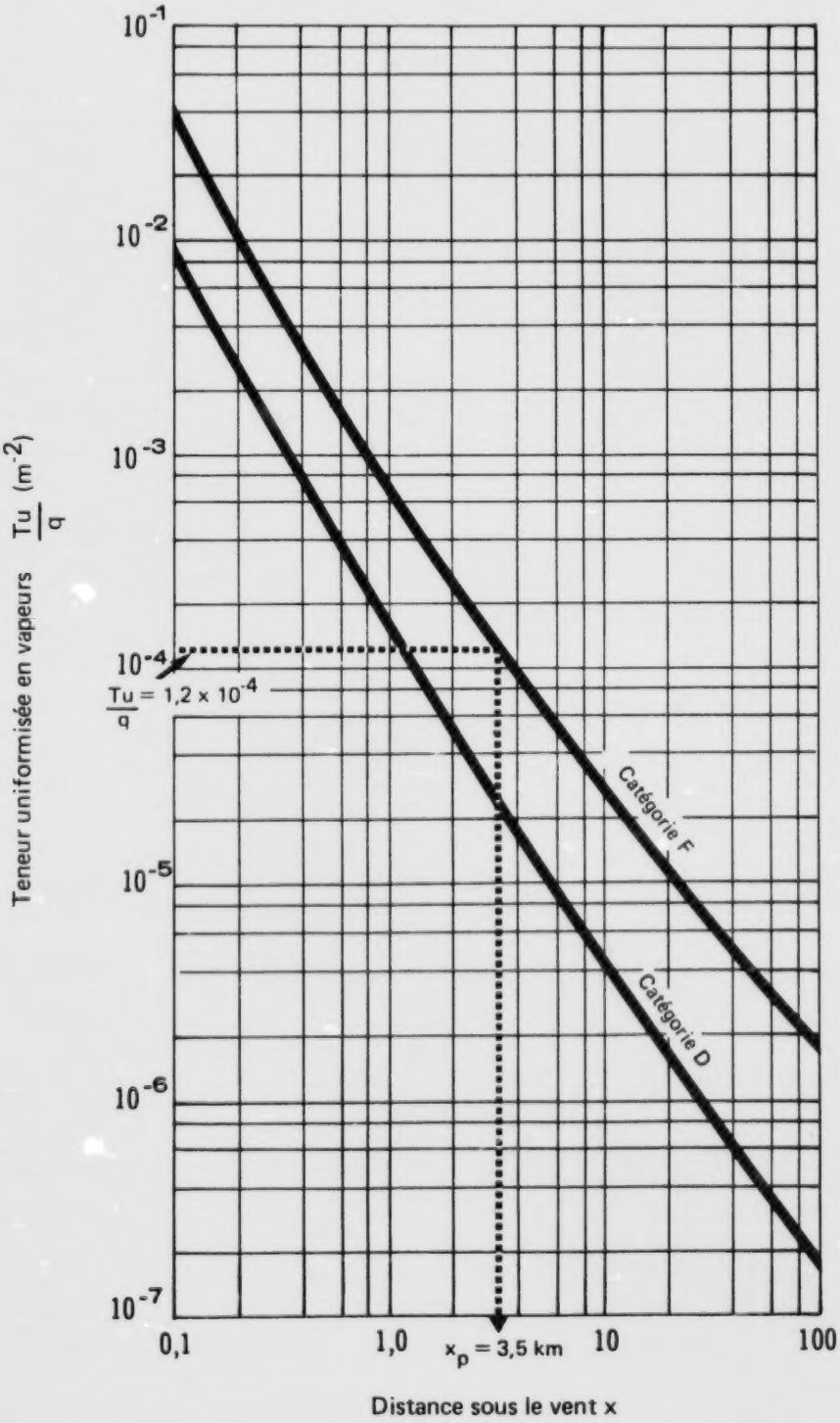
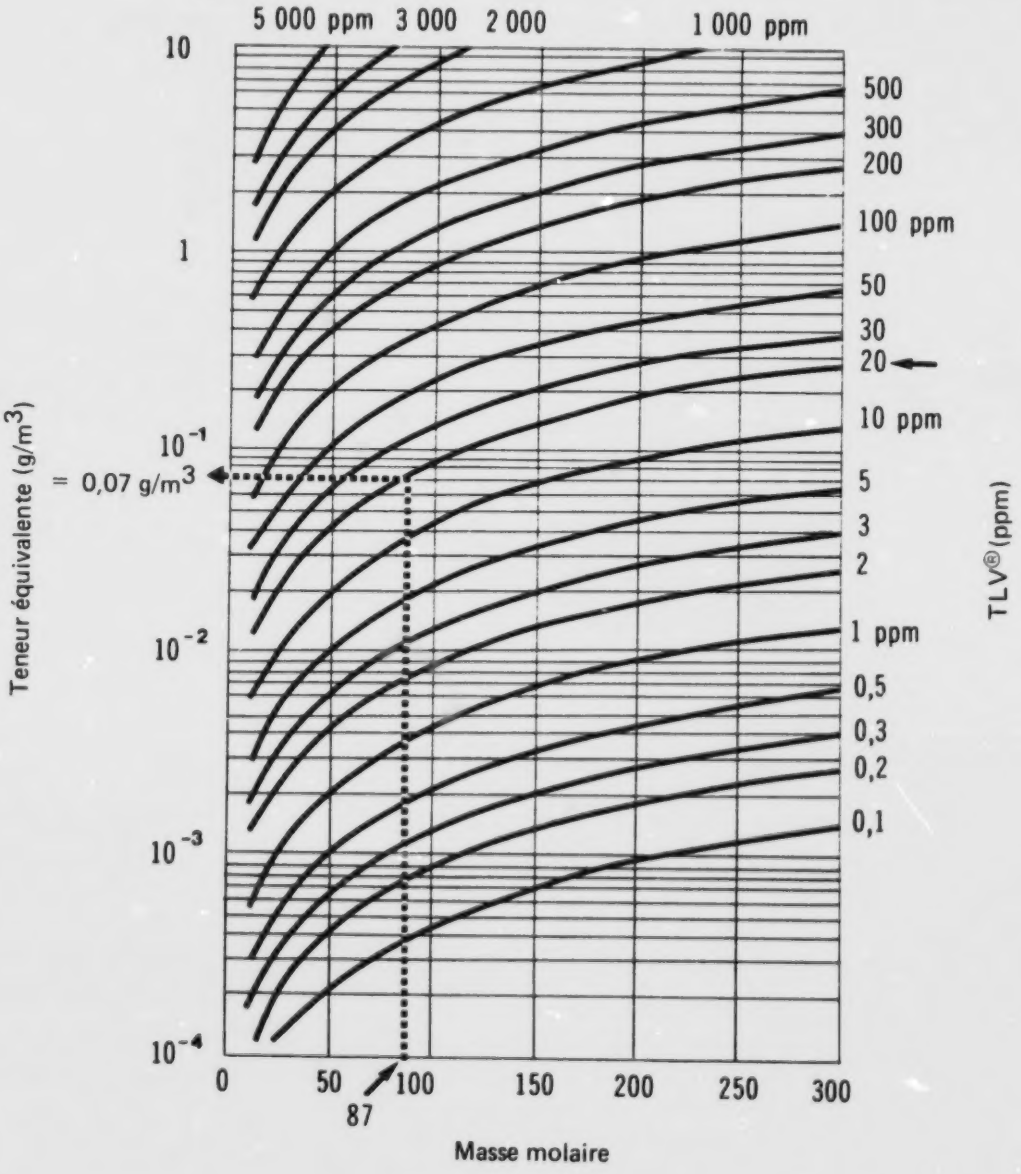


Figure 14

MORPHOLINE

CONVERSION DES UNITÉS DE LA TLV® (ppm en g/m³)

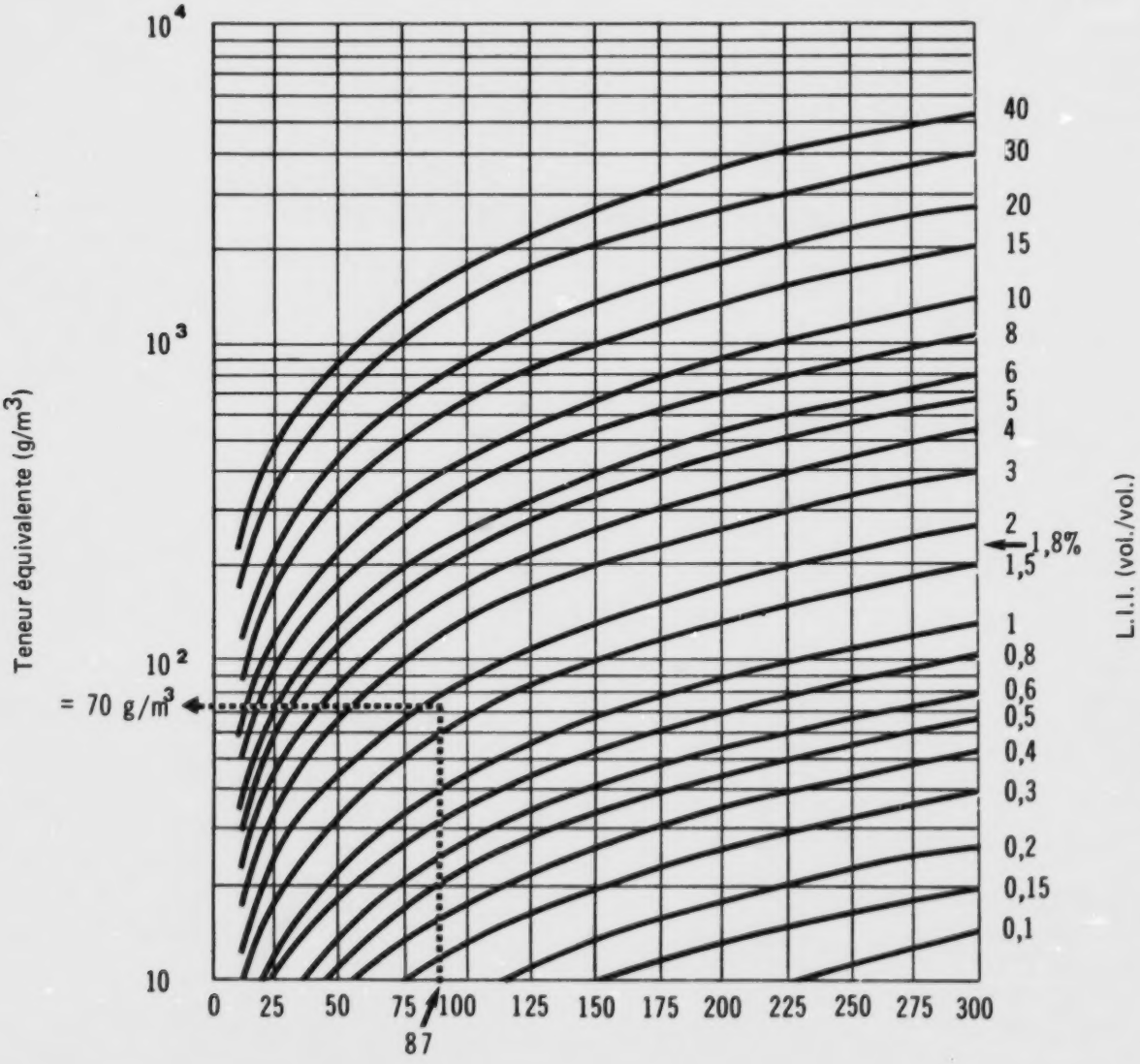


Exemple: Masse molaire de la morpholine = 87, TLV® = 20 ppm, alors TLV® en g/m³ = 0,07.
Note: Ces données valent pour une température de 25 °C et une pression de Hg de 760 mm.

Figure 15

MORPHOLINE

CONVERSION EN g/m^3
DU % VOLUMIQUE DE LA LIMITE INFÉRIEURE D'INFLAMMABILITÉ



Exemple: Masse molaire de la morpholine = 87, L.I.I. = 1,8 %, alors L.I.I. en g/m^3 = 70.
Note: Ces données valent pour une temp. de 25 °C et une pression de Hg de 760 mm.

Une teneur dangereuse limite, égale à 10 x TLV®, a été choisie de façon arbitraire: elle représente une limite «relativement réaliste» au-delà de laquelle une exposition de courte durée (30 minutes) présente un danger pour la santé. La TLV® est une norme d'exposition de longue durée sur les lieux de travail. Si elle était utilisée comme teneur limite dangereuse, la zone dangereuse atteindrait des proportions démesurées.

5.3.2.3 **Demi-largeur maximale du panache dangereux.** – Le tableau 8 présente des valeurs de la demi-largeur maximale L/2 max. du panache pour une plage de valeurs q/u, en fonction des catégories météorologiques D et F. Ces valeurs ont été calculées à l'aide des modèles de diffusion expliqués dans le guide d'introduction de la collection, en supposant une teneur dangereuse limite (ce qu'on appelle communément une teneur maximale admissible) égale à 10 fois la TLV® (soit 10 x 0,07 g/m^3 ou 0,7 g/m^3). La demi-largeur du panache dangereux représente la demi-largeur du nuage de vapeurs, situé du côté sous le vent et atteignant une teneur égale à 10 x TLV®. Le tableau 8 ne s'applique donc que dans le cas de cette teneur limite de 0,7 g/m^3. À noter que la distance maximale considérée est de 100 kilomètres.

La catégorie météorologique D comporte une plage de vitesses du vent qui va de 1 à 30 m/s. Quant à l'éventail de débits d'émission q utilisé, qui va de 75 000 à 17 500 000 g/s, il correspond à un éventail de masses déversées comprises entre 35 et 8000 tonnes respectivement. Si tout le contenu, soit 80 000 l (17 600 gal imp.) d'un wagon-citerne était déversé, cela représenterait une masse de 63 400 kg (63 tonnes). Le tableau 8, pour la catégorie D, fournit des chiffres calculés en fonction de masses jusqu'à 100 fois plus considérables.

La catégorie météorologique F comporte une plage de vitesses du vent qui va de 1 à 3 m/s. Quant à l'éventail de débits d'émission q utilisé, qui va de 15 000 à 4 500 000 g/s, il correspond à un éventail de masses déversées comprises entre 1 et 5500 tonnes. Le tableau 8, pour la catégorie F, fournit des chiffres calculés en fonction de masses atteignant 69 fois celle que transporte un wagon-citerne standard.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

À partir de valeurs connues de q et de u et en fonction d'une catégorie météorologique donnée, calculez q/u. Choisissez la valeur q/u la plus proche fournie dans le tableau et la demi-largeur maximale correspondante, en mètres. Si vous désirez un résultat un peu plus précis, déterminez par interpolation les valeurs q/u et L/2 max. (Voir également l'exemple qui accompagne le tableau 8.)

5.3.2.4 **Distance parcourue par le panache en fonction du temps écoulé.** – La figure 16 indique la distance x parcourue par le panache après un temps t de déplacement pour une vitesse de vent u donnée. Il s'agit de la représentation graphique de la relation $x_t = ut$ appliquée à un éventail de vitesses de vent courantes.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La vitesse u du vent et le temps t de déplacement du panache étant connus, la distance parcourue du côté sous le vent peut être obtenue.

5.3.3 **Étapes de calcul.** – L'exemple donné ci-dessous illustre les étapes à suivre dans le calcul qui permet de déterminer la zone dangereuse sous le vent à partir du lieu où se produit un déversement. L'utilisateur prendra note des limites des méthodes de calcul décrites dans le présent guide ou dans le guide d'introduction de la collection. Les estimations ne valent que pour les conditions précisées. Il est souhaitable que l'utilisateur, dans un cas de déversement réel, se serve de données connues ou observables (par exemple en ce qui concerne le rayon de la nappe).

Tableau 8
Demi-largeur maximale du panache dangereux de vapeurs de morpholine (à 20 °C)

Catégorie météorologique D			Catégorie météorologique F	
q/u (g/m)	L/2 max. (m)		q/u (g/m)	L/2 max. (m)
4 500 000	3250 (99,5 km)		450 000	1510 (99,5 km)
4 000 000	3025		400 000	1380
3 500 000	2785		300 000	1115
3 000 000	2530		250 000	970
2 500 000	2260		200 000	825
2 000 000	1970		150 000	665
1 500 000	1650		125 000	580
1 000 000	1280		100 000	490
750 000	1075		75 000	395
500 000	835		50 000	300
400 000	730		25 000	195
300 000	610		10 000	110
200 000	485	q/u = 5715 →	7 500	90 → L/2 max. = 80 m
150 000	410		5 000	70
125 000	370		2 500	45
100 000	325		1 000	30
75 000	275		500	20
50 000	215			
25 000	145			
10 000	85			
5 000	60			
2 500	40			
1 000	25			
500	20			

Note. – Ce tableau vaut seulement pour une teneur en morpholine de 10 x TLV® ou 0,70 g/m^3.
Exemple. – Une nappe de morpholine libère des vapeurs à un débit q = 1,2 x 10^4 g/s dans des conditions météorologiques de catégorie F; si la vitesse du vent u = 2,1 m/s, alors q/u = 5715 g/m, ce qui donne une demi-largeur maximale L/2 max. du panache dangereux de 80 m.

DONNÉES DU PROBLÈME

Au cours de la nuit, vers 2 h, 20 tonnes de morpholine ont été déversées sur un sol plat. Il est maintenant 2 h 05. La température est de 20 °C et le vent souffle du nord-ouest à une vitesse de 7,5 km/h. Déterminer la zone de vapeurs dangereuses.

ÉTAPES DU CALCUL

Étape 1 La masse *m* de liquide déversé est de 20 tonnes.

Étape 2 Calculer le rayon r de la nappe.

Utiliser le rayon mesuré sur place si cela est possible.

Sinon, utiliser le rayon maximal calculé en fonction d'une épaisseur de la nappe de 2 mm.

r = 120 ÷ 1000 = 0,12 km

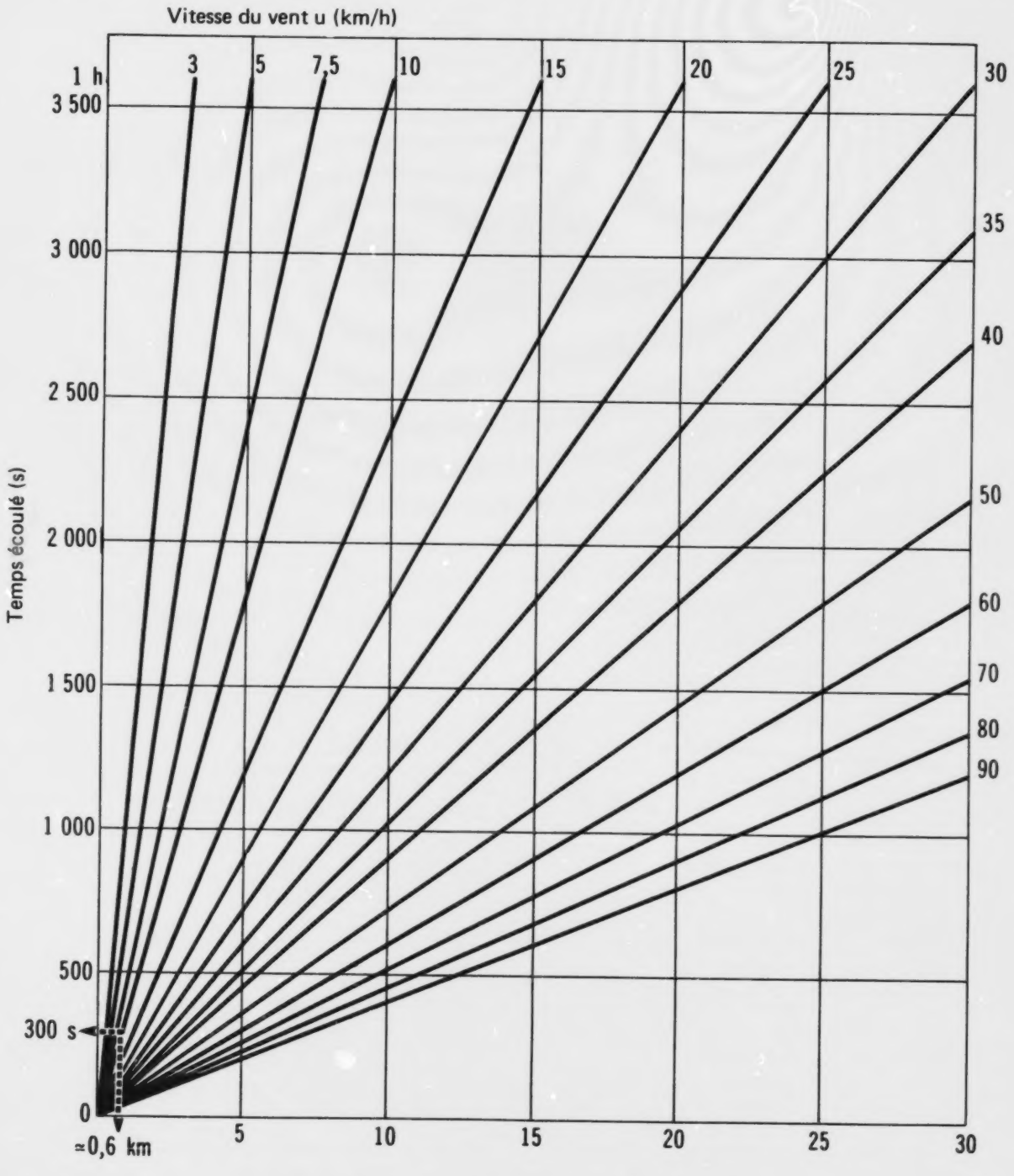
Étape 3 Calculer le débit d'émission q à temp. = 20 °C.

r = 120 m et *t* = 20 °C, q = 1,2 x 10^4 g/s

Figure 16

MORPHOLINE

DISTANCE PARCOURUE PAR LE PANACHE EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ



Étape 4 Déterminer la vitesse du vent u et sa direction *D*.

Utiliser l'information accessible sur les conditions météorologiques, de préférence à partir d'observations faites sur le terrain. Ici:

$u = 7{,}5$ km/h; $u = 7{,}5 \div 3{,}6 = 2{,}1$ m/s;

D = N.-O. ou 315° (*D* = direction d'où souffle le vent).

Étape 5 Déterminer la catégorie météorologique.

Le tableau 7 permet d'établir qu'il s'agit de la catégorie F, puisque $u < 11$ km/h et que le déversement se produit au cours de la nuit.

Étape 6 Déterminer la teneur T dangereuse limite.

Il s'agit de la valeur la moindre entre 10 x TLV® et la limite inférieure d'inflammabilité dans le cas de la morpholine, donc:

$T = 0{,}70$ g/m^3 (TLV®$= 0{,}07$ g/m^3; L.I.I. $= 70$ g/m^3)

Étape 7 Calculer Tu/q.

$$Tu/q = \frac{0{,}70 \times 2{,}1}{1{,}2 \times 10^4} = 1{,}23 \times 10^{-4} \text{ m}^{-2}.$$

Étape 8 Calculer la distance maximale dangereuse du côté sous le vent x à partir du point source p théorique.

Voir figure 13. Pour une catégorie F de conditions météorologiques,

si $Tu/q = 1{,}2 \times 10^{-4}$ m^{-2}, $x_p \simeq 3{,}5$ km.

Étape 9 Calculer la distance dangereuse maximale du côté sous le vent x à partir de l'aire source a.

Comme $x_p = 3{,}5$ km et $r = 0{,}12$ km,

$x_a = x_p - 10\,r = 3{,}5 \text{ km} - 10(0{,}12 \text{ km}) = 2{,}3$ km.

Étape 10 Calculer la demi-largeur maximale du panache dangereux.

Se servir du tableau 8. Comme $q = 1{,}2 \times 10^4$ g/s et $u = 2{,}1$ m/s,

$$q/u = \frac{1{,}2 \times 10^4}{2{,}1} = 5715 \text{ g/m}$$

pour la catégorie F de conditions météorologiques, la valeur de q/u se situe entre 5000 et 7500 g/m, ce qui donne une demi-largeur maximale d'environ 80 m.

Étape 11 Déterminer le temps *t* écoulé depuis le début du déversement,

$t = 5$ mn x 60 $= 300$ s.

Étape 12 Calculer la distance sous le vent x parcourue par le panache depuis le début du déversement.

Se servir de la figure 16. Comme $t = 300$ s et $u = 7{,}5$ km/h,

$x_t = 0{,}6$ km (plus précisément: $ut = 2{,}1$ m/s x 300 s $= 630$ m $= 0{,}63$ km).

Étape 13 Schématiser la zone dangereuse.

Cela se fait en formant un rectangle dont deux des côtés opposés mesurent (chacun) deux fois la demi-largeur maximale du panache dangereux (80 m), alors que les deux autres côtés mesurent (chacun) l'équivalent de la distance maximale dangereuse sous le vent à partir de l'aire source, soit 2,3 km, et sont orientés dans la direction du vent (voir figure 17).

Si le vent ne fluctue que de 20° (315° ± 10°) le schéma de la zone dangereuse correspond à la figure 18.

Note. – Au cours des 5 minutes qui se sont écoulées depuis le début du déversement, le panache a franchi seulement 0,63 km. Sous un vent de 7,5 km/h, il s'écoulerait encore 13 minutes avant que le panache ne franchisse la distance maximale dangereuse sous le vent, soit 2,3 km.

Figure 17

MORPHOLINE

ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT INVARIABLE
EXEMPLE DE PROBLÈME

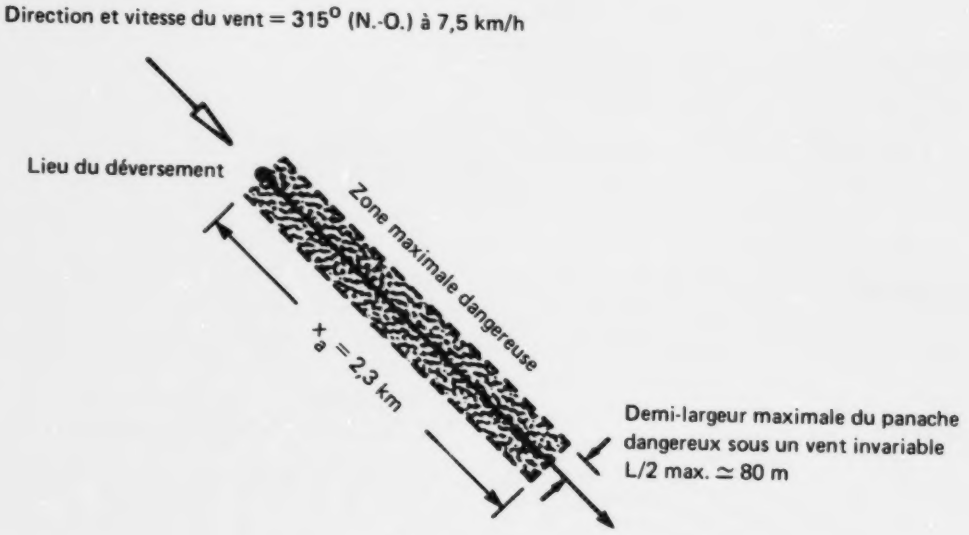
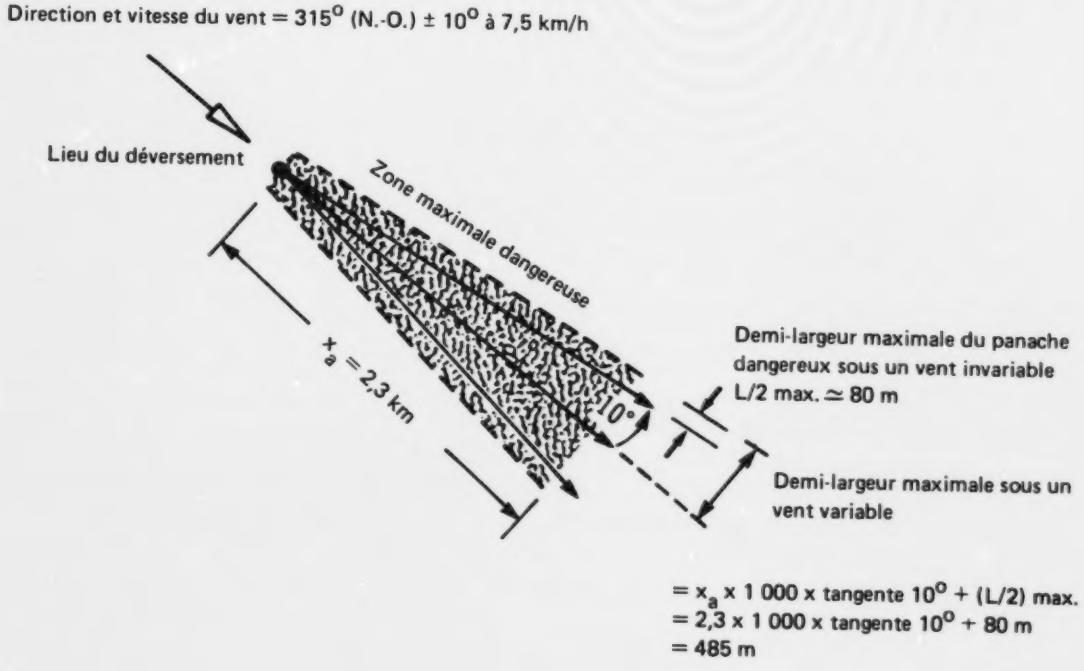


Figure 18

MORPHOLINE

ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT VARIABLE
EXEMPLE DE PROBLÈME



5.4 Comportement dans l'eau

5.4.1 Introduction. – Déversée dans l'eau, la morpholine se mélange avec l'eau et se dilue. En général, le phénomène de mélange peut être décrit par les équations de diffusion classiques, comportant un ou plusieurs coefficients de diffusion. Dans les rivières, le mélange est surtout le résultat d'un écoulement turbulent; alors que dans un plan d'eau (étendue d'eau calme) il s'effectue par diffusion moléculaire.

Pour évaluer la teneur en polluant de l'eau d'une rivière en aval d'un lieu de déversement, les auteurs ont utilisé un modèle de diffusion turbulente. Ce modèle s'applique aux liquides miscibles dans l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, et aux solides qui se dissolvent dans l'eau. Il vaut donc pour la morpholine.

Le modèle utilisé est unidimensionnel; il établit un canal rectangulaire théorique et suppose une teneur uniforme en polluant dans toute section donnée de l'écoulement (section mouillée). En pratique, une telle uniformité n'est possible qu'en des points situés assez loin en aval du lieu du déversement, là où les mécanismes de mélange et de dilution ont joué suffisamment pour produire une répartition égale du polluant à travers le canal. Le modèle s'applique aux cours d'eau dont le rapport largeur/profondeur est inférieur à 100. Il postule également un coefficient de rugosité de Manning de 0,03. (Pour plus de détails au sujet de ce modèle, voir le guide d'introduction de la collection.)

En ce qui a trait à la diffusion moléculaire dans un plan d'eau, aucun modèle n'a été élaboré. Les auteurs ont établi des nomogrammes permettant de délimiter la zone dangereuse et de calculer la teneur moyenne dans cette zone en fonction de la masse de liquide déversé, indépendamment du temps écoulé.

5.4.2 Nomogrammes de la diffusion du polluant dans l'eau. – Le lecteur trouvera ci-dessous la liste des nomogrammes servant à déterminer les teneurs en polluant dans les cours d'eau non soumis aux marées et dans les lacs au repos ou autres plans d'eau.

A. – Cours d'eau non soumis aux marées

Figure 20 Distance en fonction du temps pour une plage de vitesses moyennes d'écoulement

Figure 21 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal pour une plage de profondeurs du canal (hauteurs d'eau)

Figure 22 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique pour une plage de vitesses moyennes d'écoulement

Figure 23 Alpha* en fonction du coefficient de diffusion turbulente pour différentes valeurs de temps écoulé

Figure 24 Delta* en fonction de alpha pour différentes masses de liquide déversé

Figure 25 Teneur maximale en fonction de delta pour des sections mouillées de différentes surfaces

B. – Lacs au repos et autres plans d'eau

Figure 26 Volume d'eau en fonction du rayon hydraulique de la zone dangereuse (pour différentes profondeurs du lac, c.-à-d. différentes hauteurs d'eau)

Figure 27 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau de la zone dangereuse (pour différentes masses de liquide déversé)

---

* Alpha et delta ne sont que des facteurs de conversion: leur utilité est de faciliter le calcul des teneurs en aval du lieu du déversement.

La figure 19 présente les étapes à suivre pour évaluer la teneur en polluant en un point situé en aval du lieu du déversement et indique les nomogrammes à utiliser; ces derniers sont expliqués dans les paragraphes qui suivent.

5.4.2.1 Diffusion dans les cours d'eau non soumis aux marées

Figure 20 Distance en fonction du temps. – Le graphique montre les relations entre la vitesse moyenne de l'écoulement, le temps écoulé et la distance parcourue. Pour une vitesse moyenne de l'écoulement V donnée, le temps t que met le polluant pour atteindre un point situé à une distance x donnée en aval du lieu du déversement peut être obtenu rapidement à l'aide de ce graphique.

Figure 21 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal. – Le modèle choisi pour évaluer la teneur en polluant en aval du lieu du déversement comporte un canal rectangulaire théorique de largeur L, ayant une hauteur d'eau h. Le rayon hydraulique r doit être connu pour calculer le coefficient de diffusion turbulente E. Le rayon hydraulique lui-même correspond au rapport de la surface de la section s mouillée (ou section de l'écoulement) au périmètre mouillé B. La figure 21 permet de déterminer le rayon hydraulique d'un canal à partir de la largeur de ce dernier et de la hauteur d'eau.

Figure 22 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique. – Les données connues sur le rayon hydraulique r et sur la vitesse moyenne de l'écoulement V permettent de déterminer le coefficient de diffusion turbulente E.

Figure 23 Alpha en fonction du coefficient de diffusion turbulente. – Le nomogramme permet d'obtenir le facteur de conversion α; ce dernier est fonction du coefficient de diffusion turbulente E et du temps t requis pour atteindre un point situé en aval du lieu du déversement.

Figure 24 Delta en fonction de alpha. – Un second facteur de conversion, delta Δ, est requis pour évaluer la teneur en polluant en un point donné. Delta est fonction d'alpha et de la masse de liquide déversé.

Figure 25 Teneur maximale en fonction de delta. – Il s'agit de la dernière étape dans la détermination de la teneur maximale en polluant en un point situé en aval du lieu du déversement. En se servant du facteur delta et connaissant la surface de la section mouillée s, le lecteur trouve rapidement la teneur. La valeur obtenue vaut pour les liquides miscibles dans l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, et pour les solides solubles dans l'eau; elle variera quelque peu dans le cas de polluants dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau.

5.4.2.2 Diffusion dans les lacs au repos et autres plans d'eau

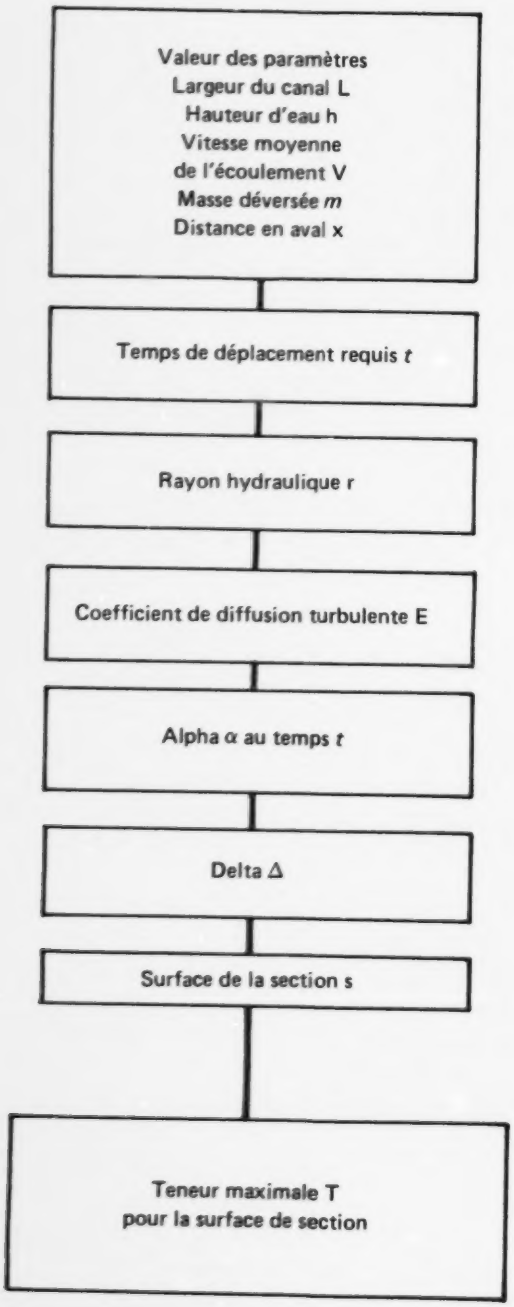
Figure 26 Volume d'eau en fonction du rayon. – L'étendue d'eau calme (ni vent, ni courant) touchée par le déversement d'un liquide miscible (dans l'eau), de densité équivalente à celle de l'eau, est représentée par un cylindre théorique de rayon r et de longueur égale à la hauteur d'eau h à l'endroit où le déversement se produit. Le volume d'eau peut être obtenu à l'aide de la figure 26. Le rayon r équivaut à la distance x entre le lieu du déversement et le point où la teneur est mesurée.

Figure 27 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau. – Pour un volume d'eau connu du cylindre théorique, le nomogramme permet d'établir une teneur moyenne en polluant selon la masse de liquide déversé. Il est pris pour acquis que la diffusion du polluant est uniforme dans le cylindre. En pratique, dans le cas de substances dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau, la teneur réelle près du fond sera plus forte ou plus faible.

Figure 19

MORPHOLINE

ÉTAPES À SUIVRE POUR CALCULER LA TENEUR EN POLLUANT D'UN COURS D'EAU NON SOUMIS AUX MARÉES



Étape 1

Par observation ou évaluation

L = _____ m

h = _____ m

V = _____ m/s

m = _____ tonnes

x = _____ m

Étape 2 *t* = _____ mn (fig. 20)

Étape 3 r = _____ m (fig. 21)

Étape 4 E = _____ m^2/s (fig. 22)

Étape 5 α = _____ (fig. 23)

Étape 6 Δ = _____ (fig. 24)

Étape 7 s = L x h = _____ m^2

Étape 8 T = _____ ppm (fig. 25)

Figure 20

MORPHOLINE

DISTANCE EN FONCTION DU TEMPS

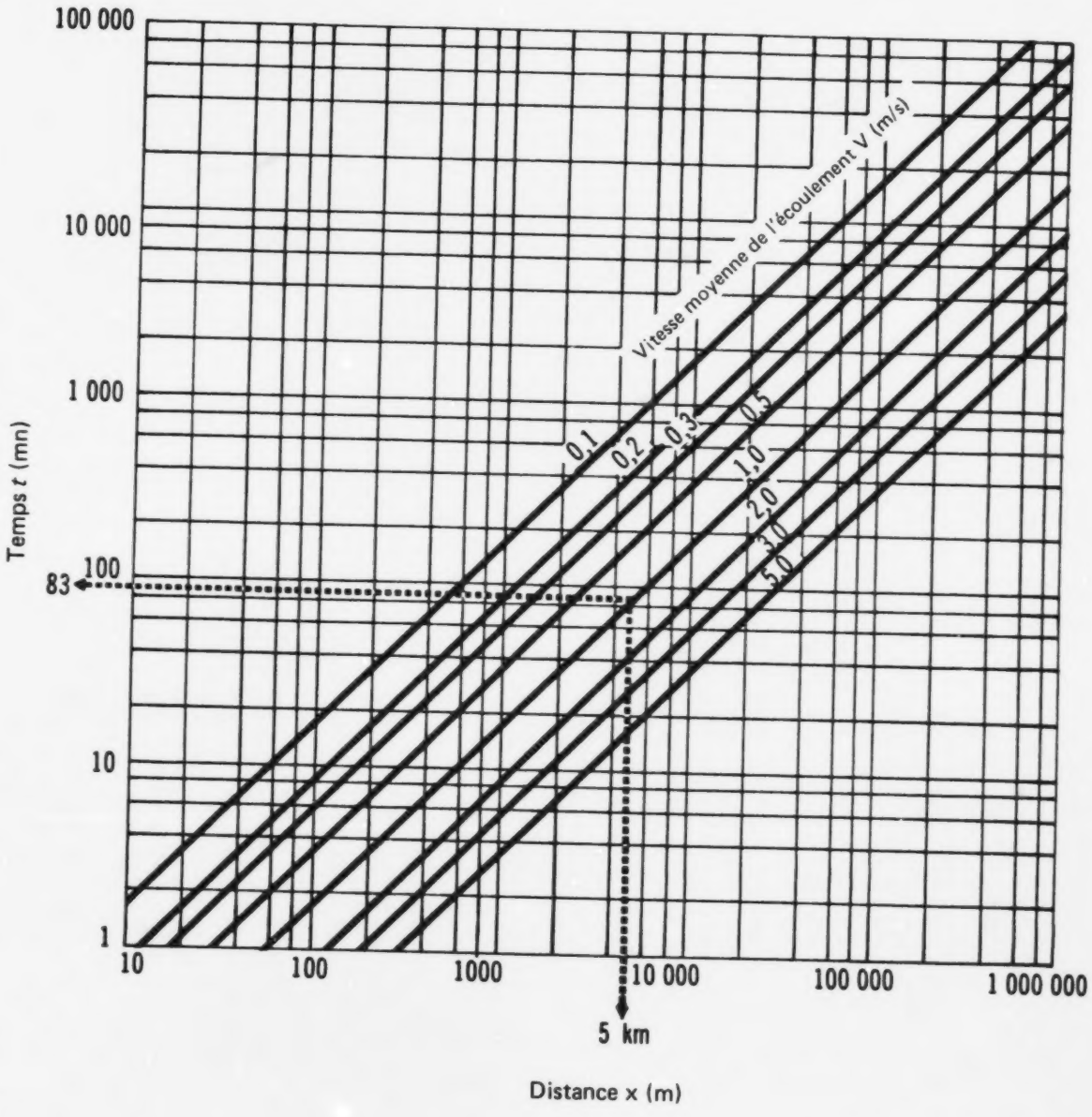


Figure 21

MORPHOLINE

RAYON HYDRAULIQUE
EN FONCTION DE LA LARGEUR DU CANAL

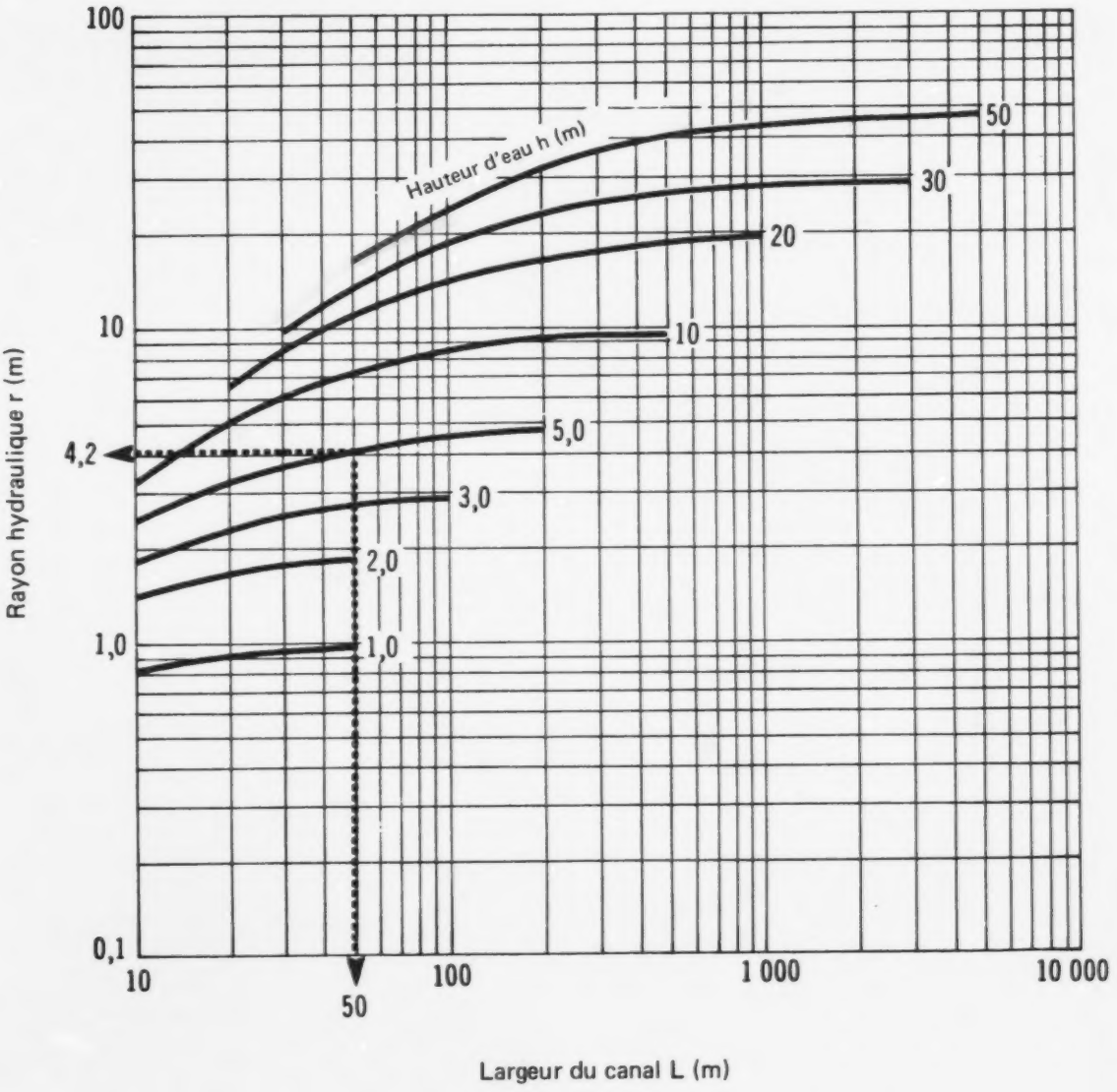


Figure 22

MORPHOLINE

COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

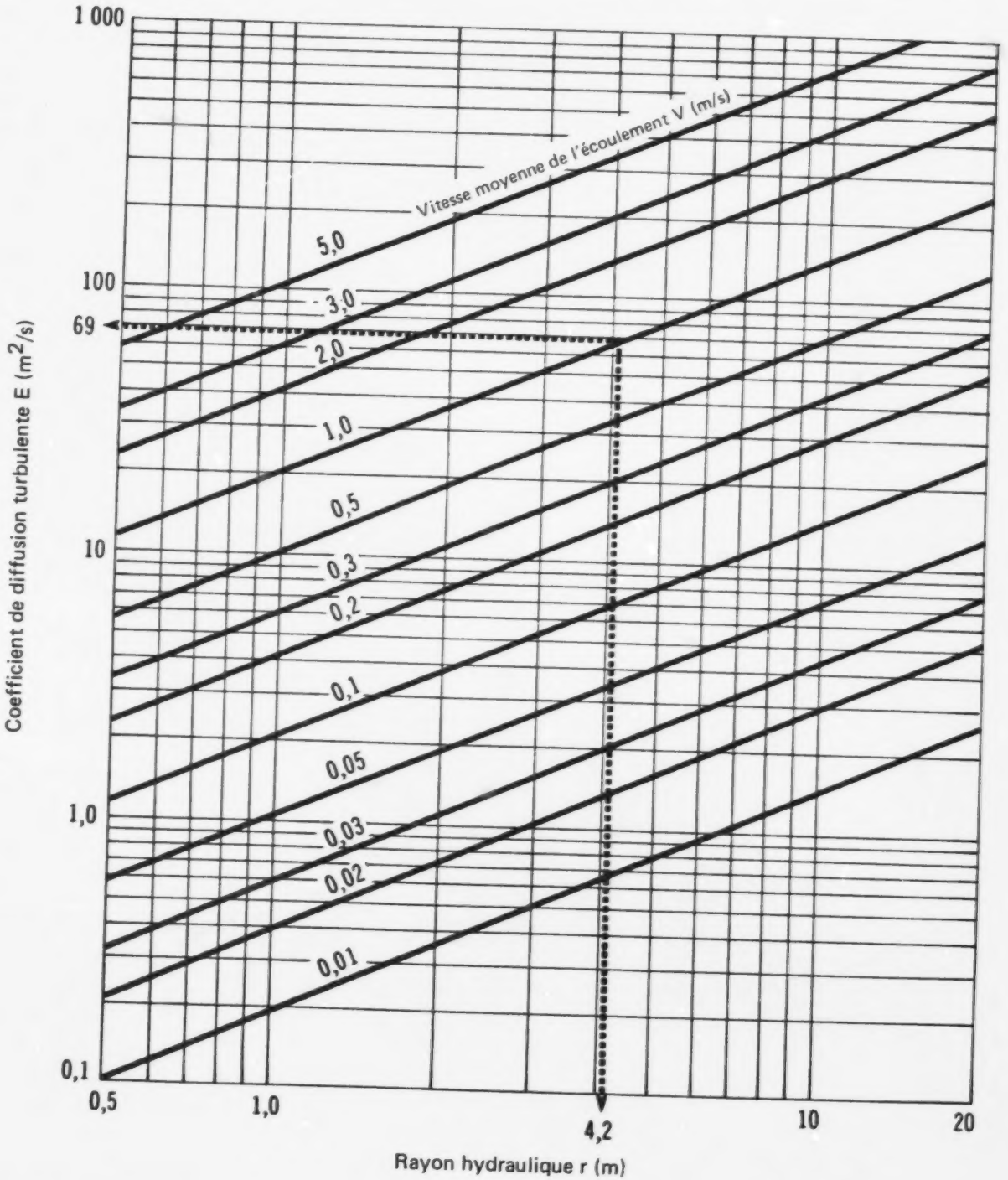


Figure 23

MORPHOLINE

ALPHA
EN FONCTION DU COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE

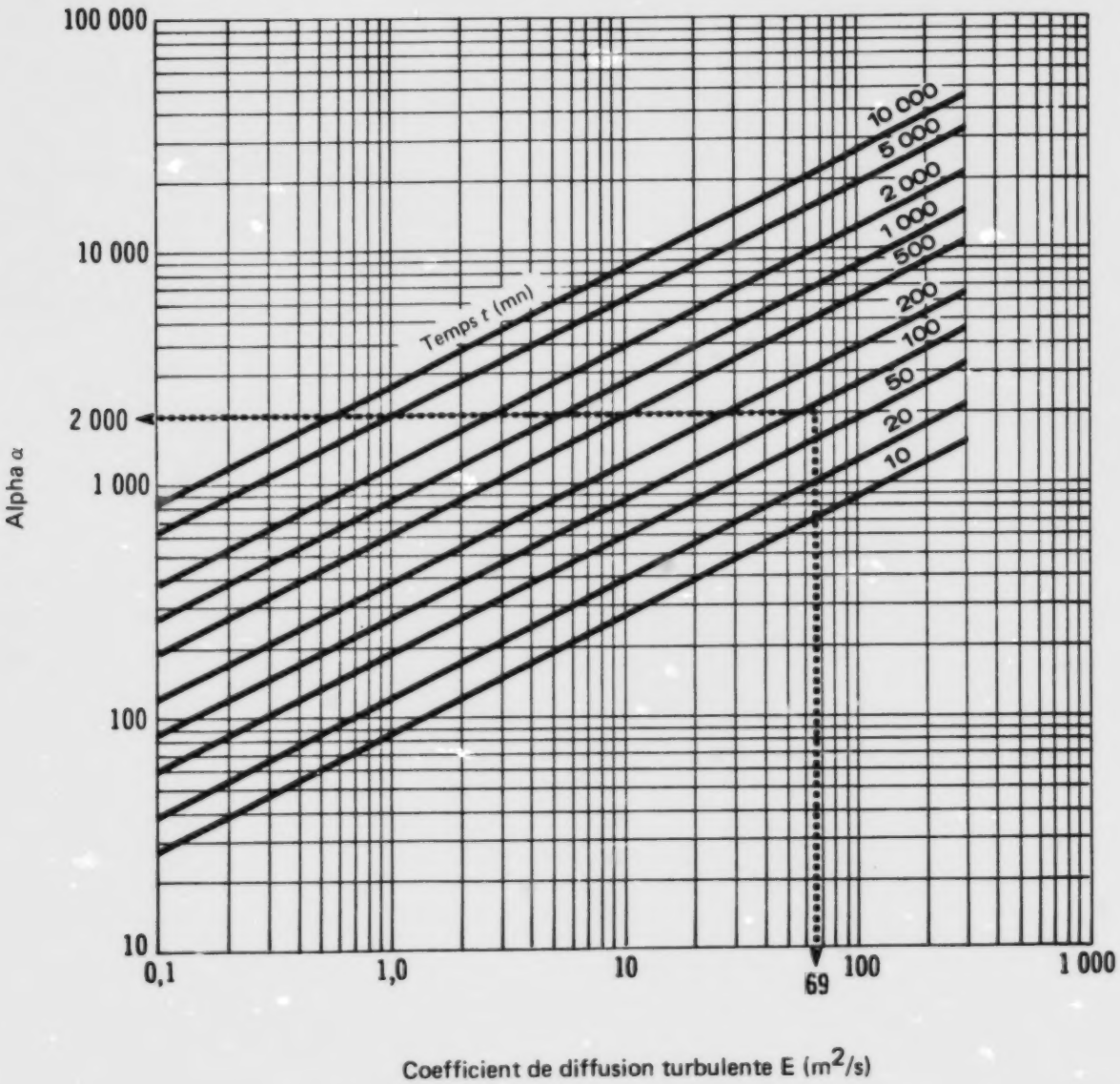


Figure 24

MORPHOLINE

DELTA
EN FONCTION DE ALPHA

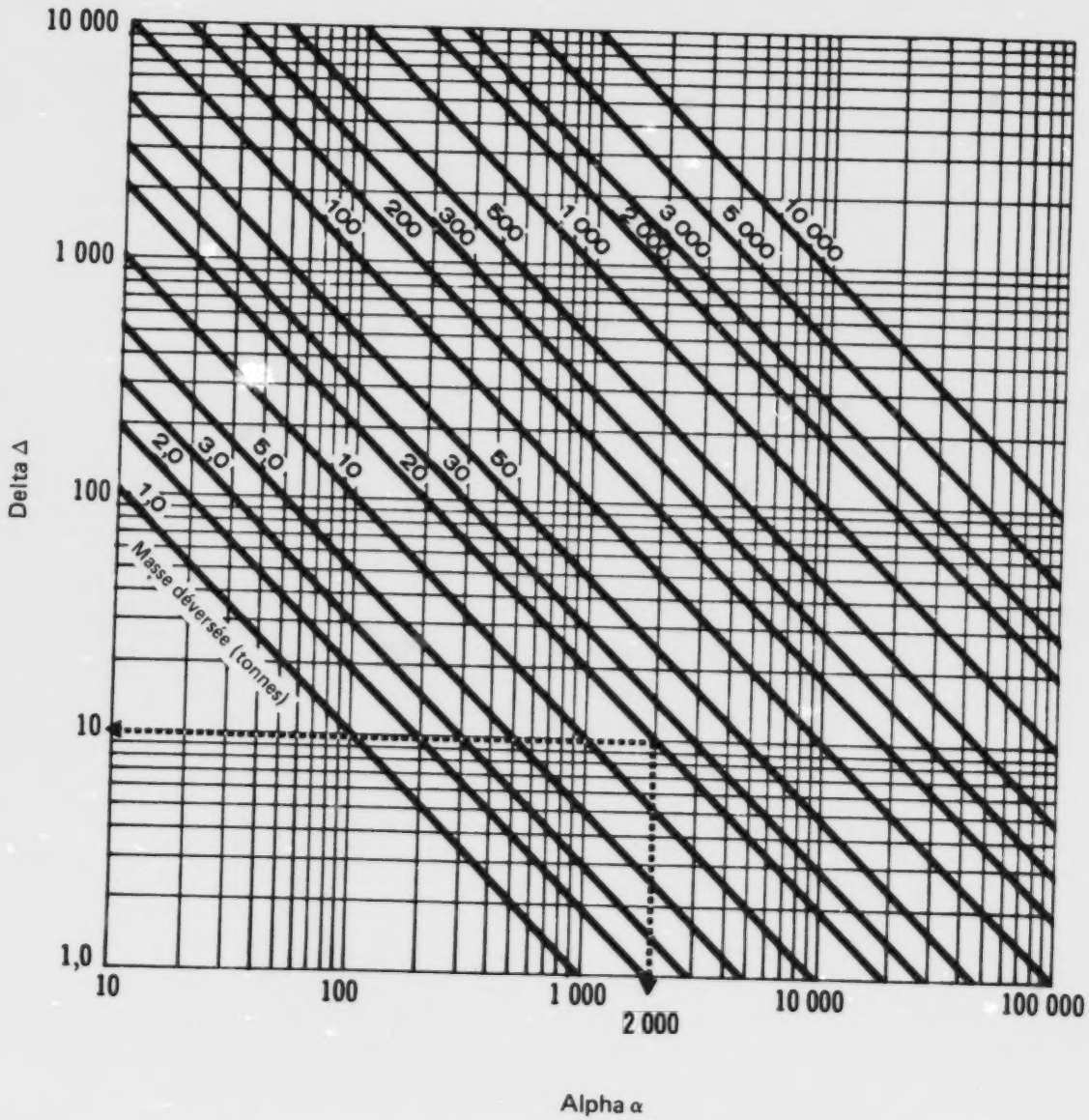


Figure 25

MORPHOLINE

TENEUR MAXIMALE
EN FONCTION DE DELTA

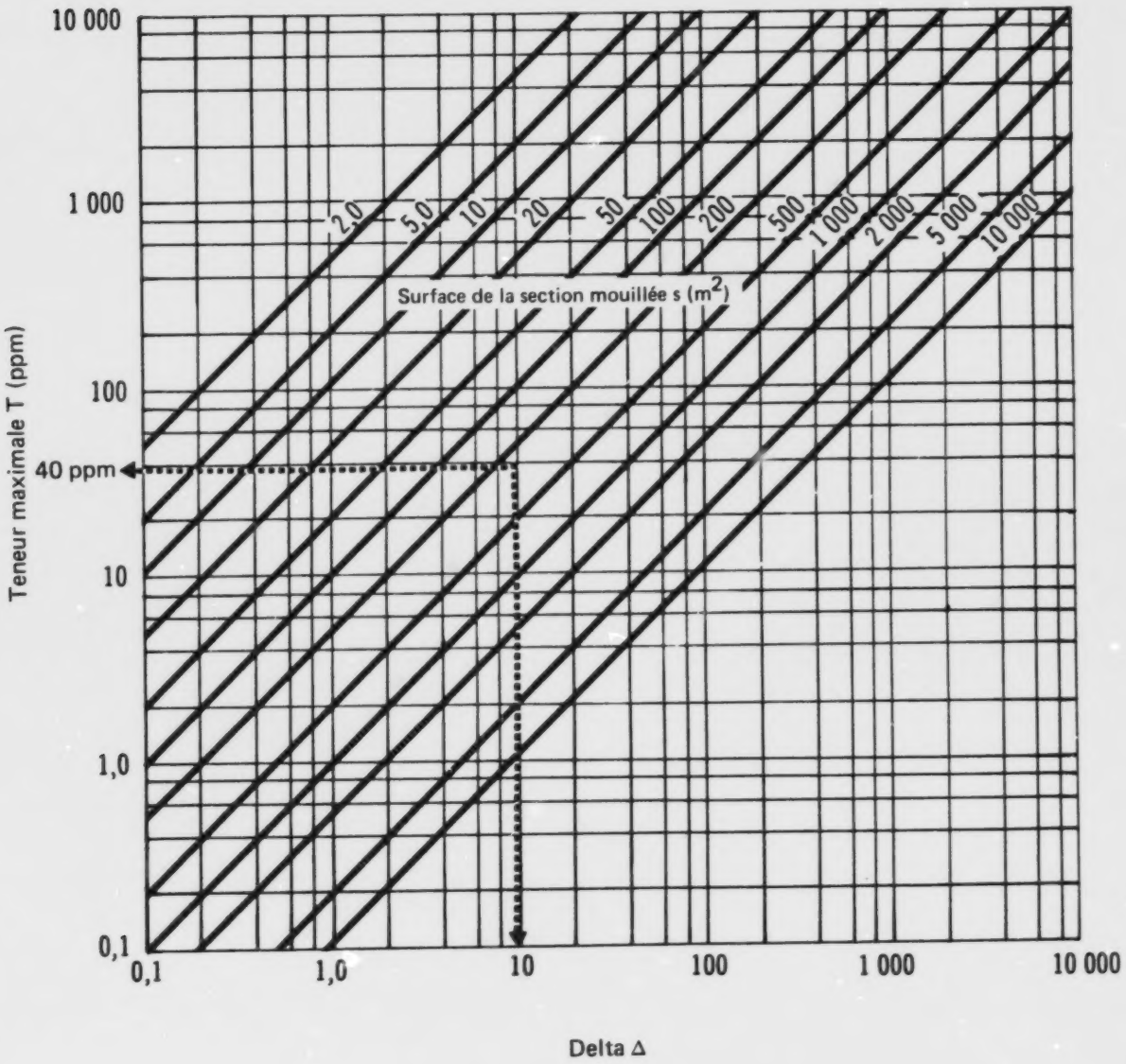


Figure 26

MORPHOLINE

VOLUME D'EAU
EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

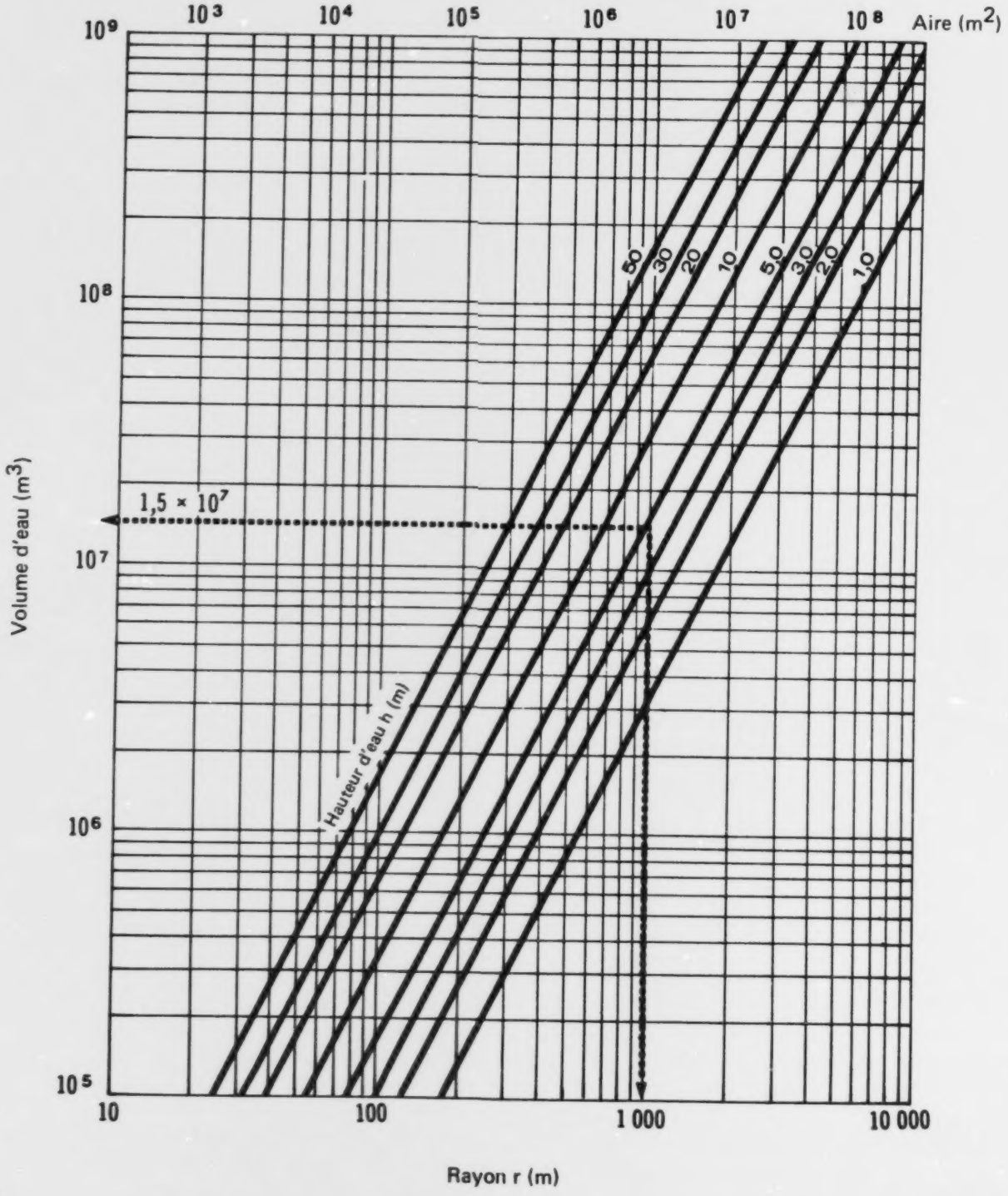
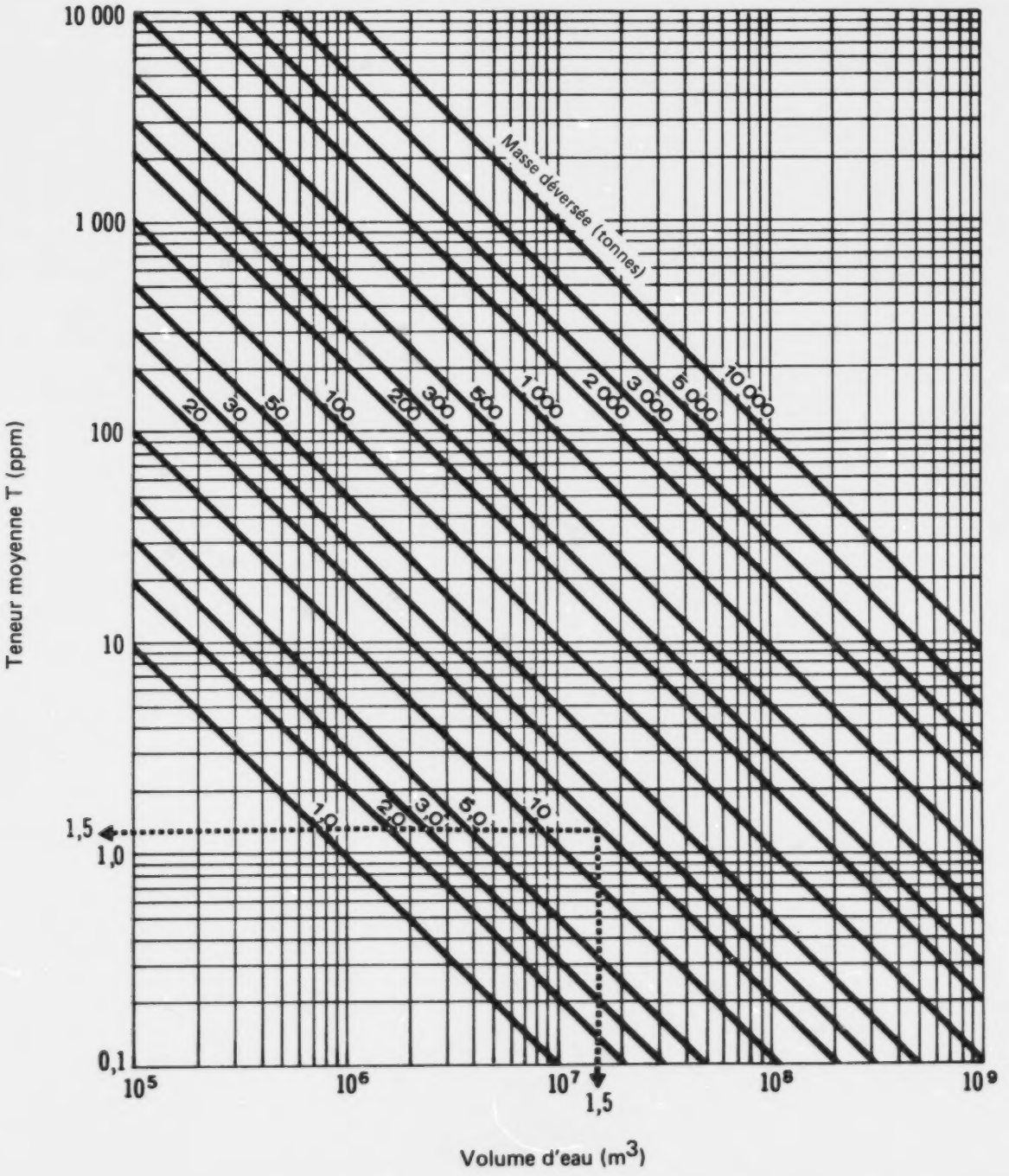


Figure 27

MORPHOLINE

TENEUR MOYENNE
EN FONCTION DU VOLUME D'EAU



5.4.3 Exemples de calcul

5.4.3.1 Teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées. – Vingt tonnes de morpholine ont été déversées dans une rivière. La hauteur d'eau h est de 5 m et la largeur L, de 50 m. La vitesse moyenne de l'écoulement est évaluée à 1 m/s. Quelle est la teneur maximale prévisible en un point situé à 5 km en aval, près d'une prise d'eau?

Étape 1 Déterminer les paramètres.
L = 50 m; h = 5 m; V = 1 m/s; x = 5000 m;
m = 20 tonnes

Étape 2 Déterminer le temps requis pour atteindre le point donné.
Comme x = 5000 m et V = 1 m/s, t = 83 mn (fig. 20).

Étape 3 Déterminer le rayon hydraulique.
Comme L = 50 m et h = 5 m, r = 4,2 m (fig. 21).

Étape 4 Déterminer le coefficient de diffusion turbulente.
Comme r = 4,2 m et V = 1 m/s, E = 69 m^2/s (fig. 22).

Étape 5 Déterminer alpha.
Comme E = 69 m^2/s et t = 83 mn, α = 2000 (fig. 23).

Étape 6 Déterminer delta.
Comme α = 2000 et m = 20 tonnes, Δ = 10 (fig. 24).

Étape 7 Calculer la surface de la section mouillée.
s = L x h = 50 x 5 = 250 m^2.

Étape 8 Déterminer la teneur maximale au point donné.
Comme Δ = 10 et s = 250 m^2, T = 40 ppm (fig. 25).

5.4.3.2 Teneur en polluant dans les lacs au repos et autres plans d'eau. – Vingt tonnes de morpholine ont été déversées dans un lac. Le point qui nous intéresse se trouve le long de la rive, à environ 1000 m du lieu du déversement. Entre ce lieu et le point donné, la hauteur d'eau moyenne est de 5 m. Quelle est la teneur moyenne prévisible en ce point?

Étape 1 Déterminer les paramètres.
h = 5 m; r = 1000 m; m = 20 tonnes.

Étape 2 Déterminer le volume d'eau assurant la diffusion.
Comme r = 1000 m et h = 5 m, vol. = 1,5 x 10^7 m^3 environ (fig. 26).

Étape 3 Déterminer la teneur moyenne.
Comme vol. = 1,5 x 10^7 m^3 et m = 20 tonnes, T = 1,5 ppm (fig. 27).

5.5 Comportement dans le sol de surface et dans le sous-sol

5.5.1 Introduction. – Les lois de la migration des fluides dans le sol, ainsi que leur application dans le cadre de la collection «Enviroguide», sont exposées dans le guide d'introduction de la collection. Les éléments dont il faut tenir compte dans le cas du déversement et de la migration de la morpholine sont présentés dans les paragraphes qui suivent.

Répandue sur le sol, la morpholine s'évapore partiellement, dégageant des vapeurs plus denses que l'air. Le reste du liquide pénètre dans le sol, où l'évaporation se poursuit mais à une vitesse moindre, proche de la vitesse d'évaporation de l'eau.

Si le sol de surface est saturé en eau au moment de l'accident, comme cela peut se produire à la suite de précipitations, la morpholine ruissellera et/ou s'évaporera.

Dans la présente section, les auteurs ont attribué au sol une capacité normale d'humidité, dite capacité au champ. Le sol recèle alors très peu d'eau interstitielle susceptible de diluer le produit au cours de sa migration ou de freiner son mouvement descendant: il s'agit donc d'un scénario parmi les pires.

Au cours de sa migration, la morpholine peut réagir par adsorption avec certains matériaux constitutifs du sol. Néanmoins, une proportion considérable du liquide déversé poursuivra son mouvement descendant jusqu'à la nappe phréatique. En fait, l'analyse présentée dans les paragraphes qui suivent ne tient compte d'aucun facteur de retardement.

Lorsque le polluant atteint la nappe phréatique, il continue sa migration dans la direction de l'écoulement de l'eau de la nappe. Il forme une poche de solution polluée, au sein de laquelle les phénomènes de diffusion et de dilution contribuent à une certaine baisse de la teneur en polluant (fig. 28).

5.5.2 Migration du polluant dans un sol à capacité au champ. – Les équations et les postulats utilisés pour déterminer la migration du polluant dans la zone non saturée, jusqu'à la nappe phréatique, sont présentés dans le guide d'introduction de la collection «Enviroguide». Les vitesses de migration font intervenir la loi de Darcy, en posant comme hypothèse la formation d'une colonne saturée en solution polluée, par suite d'un écoulement en bloc (ou écoulement piston).

5.5.3 Coefficient de perméabilité d'un sol saturé vis-à-vis du polluant. – Le coefficient de perméabilité K_0 (ou conductivité hydraulique) mesure la perméabilité d'un sol saturé donné vis-à-vis d'un fluide donné. K_0, qui s'exprime en m/s, est donné par la formule suivante:

$$K_0 = \frac{(\rho g)\, k}{\mu}$$

où: k = perméabilité intrinsèque du sol (m^2)
ρ = masse volumique du fluide (kg/m^3)
μ = viscosité absolue du fluide (Pa . s)
g = accélération de la pesanteur = 9,81 m/s^2

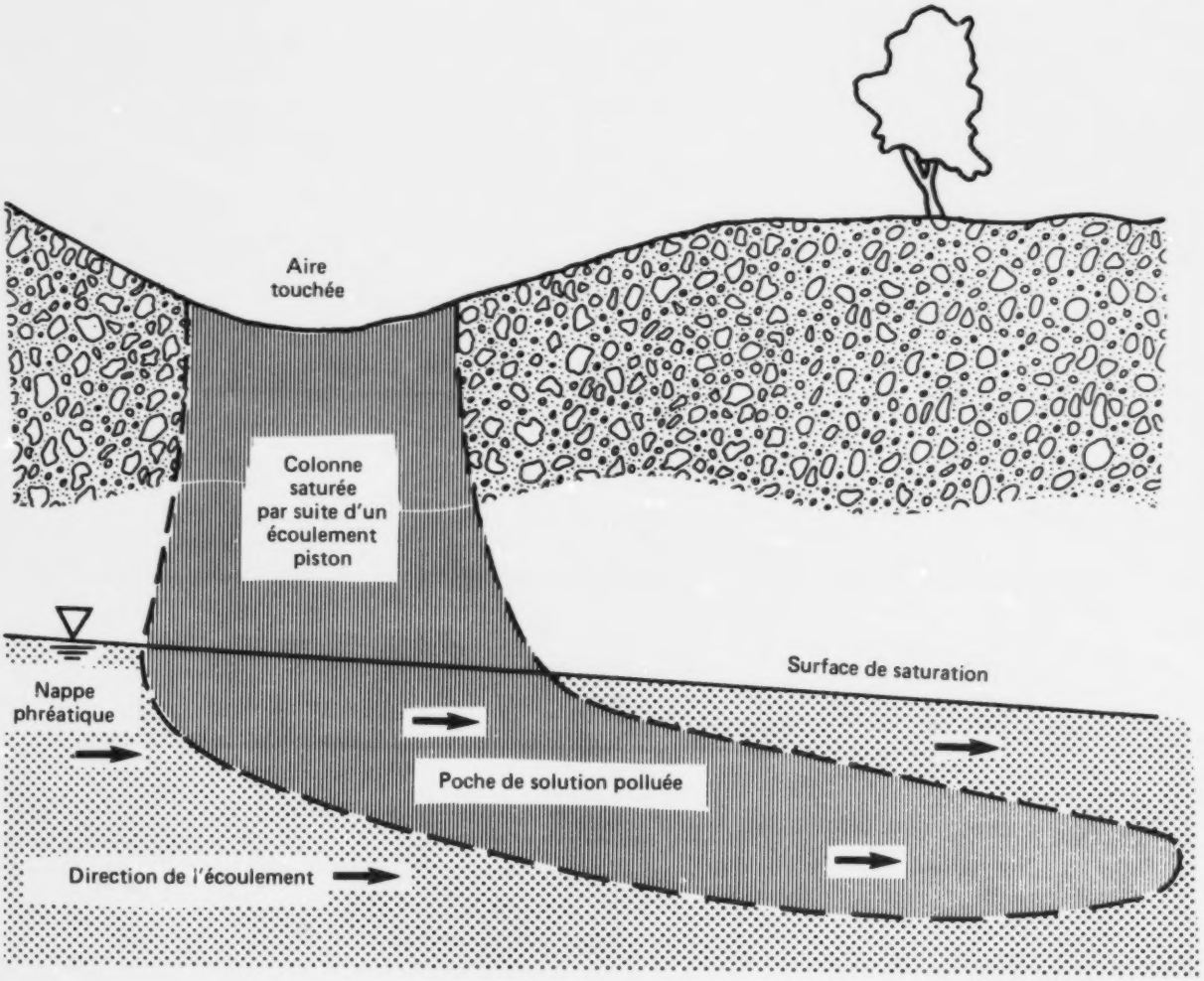
Dans le cas présent, les fluides possibles sont: la morpholine pure, la morpholine diluée dans l'eau par suite de précipitations ou mélangée avec de l'eau souterraine, l'eau. Les valeurs établies pour l'eau correspondent au point extrême de dilution. En ce qui concerne la morpholine pure, aucune valeur de ρ ni de μ n'a été obtenue.

Paramètre	Morpholine diluée (4 °C)	Eau (20 °C)
Masse volumique (kg/m^3)	1000	998
Viscosité absolue (Pa . s)	$1{,}57 \times 10^{-3}$	$1{,}0 \times 10^{-3}$
Coefficient de perméabilité du sol saturé (m/s)	$(0{,}62 \times 10^{7})\, k$	$(0{,}98 \times 10^{7})\, k$

5.5.4 Types de sol. – Le guide d'introduction de la collection «Enviroguide» décrit les trois types de sol retenus pour les besoins de la présente section. Le tableau ci-dessous présente les valeurs établies pour les propriétés qui influent sur la migration des fluides.

Figure 28

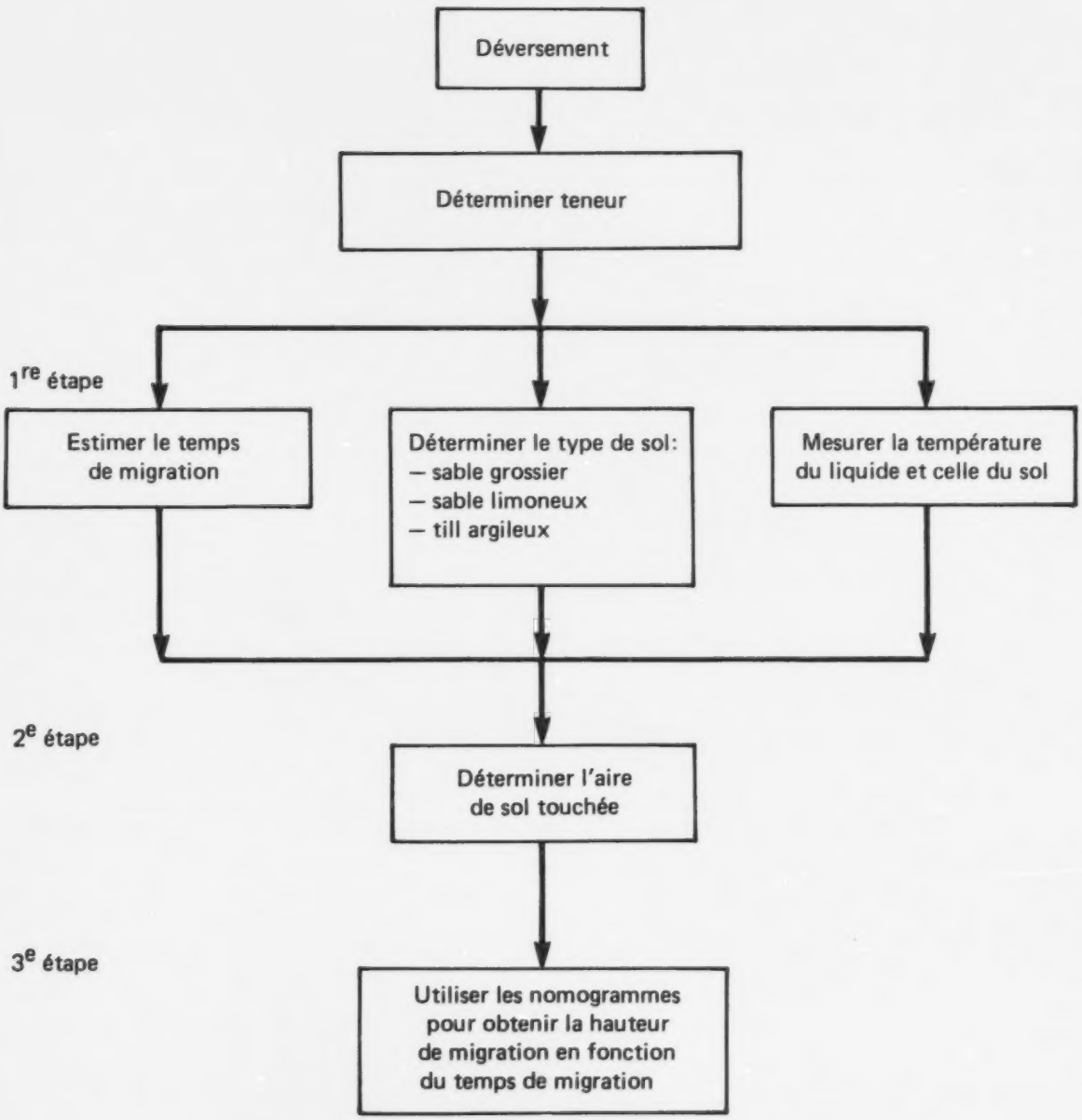
MORPHOLINE — **MIGRATION DANS LE SOUS-SOL**



Sol: sable grossier
Porosité = 0,35, perméabilité intrinsèque = 10^{-9} m^2, capacité au champ = 0,075

Figure 29

MORPHOLINE — **PLAN D'UTILISATION DES NOMOGRAMMES**



Propriété	Sable grossier	Sable limoneux	Till argileux
Porosité (m^3/m^3)	0,35	0,45	0,55
Perméabilité intrinsèque (m^2)	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}
Capacité au champ (m^3/m^3)	0,075	0,3	0,45

5.5.5 Nomogrammes de la migration. – Un nomogramme de la migration de la morpholine dans la couche de sol non saturée (c.-à-d. à capacité au champ) située au-dessus de la nappe phréatique a été préparé pour chaque type de sol mentionné. Chaque nomogramme montre la hauteur totale de migration h_m en fonction du temps de migration pour un volume donné de fluide déversé au sein d'une colonne de sol d'une superficie donnée. Vu les méthodes utilisées et les hypothèses posées, la profondeur atteinte par le fluide après un temps donné doit être considérée comme maximale. Le lecteur trouvera à la figure 29 le plan d'utilisation des nomogrammes présentés aux figures 30 à 32. À noter que la droite représentant la profondeur atteinte par l'eau indique la profondeur (ou hauteur) maximale atteinte par la morpholine diluée à l'extrême par l'eau.

5.5.6 Exemple de calcul. – Vingt tonnes de morpholine se sont répandues sur un sol constitué de sable grossier. L'aire touchée a un rayon de 8,6 m. La température atteint 20 °C. Calculer la hauteur de migration atteinte par le fluide, 4 jours après le moment de l'accident.

Étape 1 Déterminer la valeur des paramètres.
Masse de fluide déversée = 20 000 kg (20 tonnes)
Température = 20 °C
Rayon de l'aire touchée = 8,6 m
Type de sol = sable grossier
Profondeur de la surface de saturation = 13 m
Temps écoulé depuis le moment du déversement = 4 jours

Étape 2 Calculer l'aire touchée par le fluide.
Aire = $\pi r^2 = 232\ m^2$

Étape 3 Évaluer la hauteur de migration après 4 jours
Hauteur de migration = 3,5 m
(La surface de saturation n'est pas atteinte.)

Figure 30

MORPHOLINE

MIGRATION DANS UN SOL GROSSIER

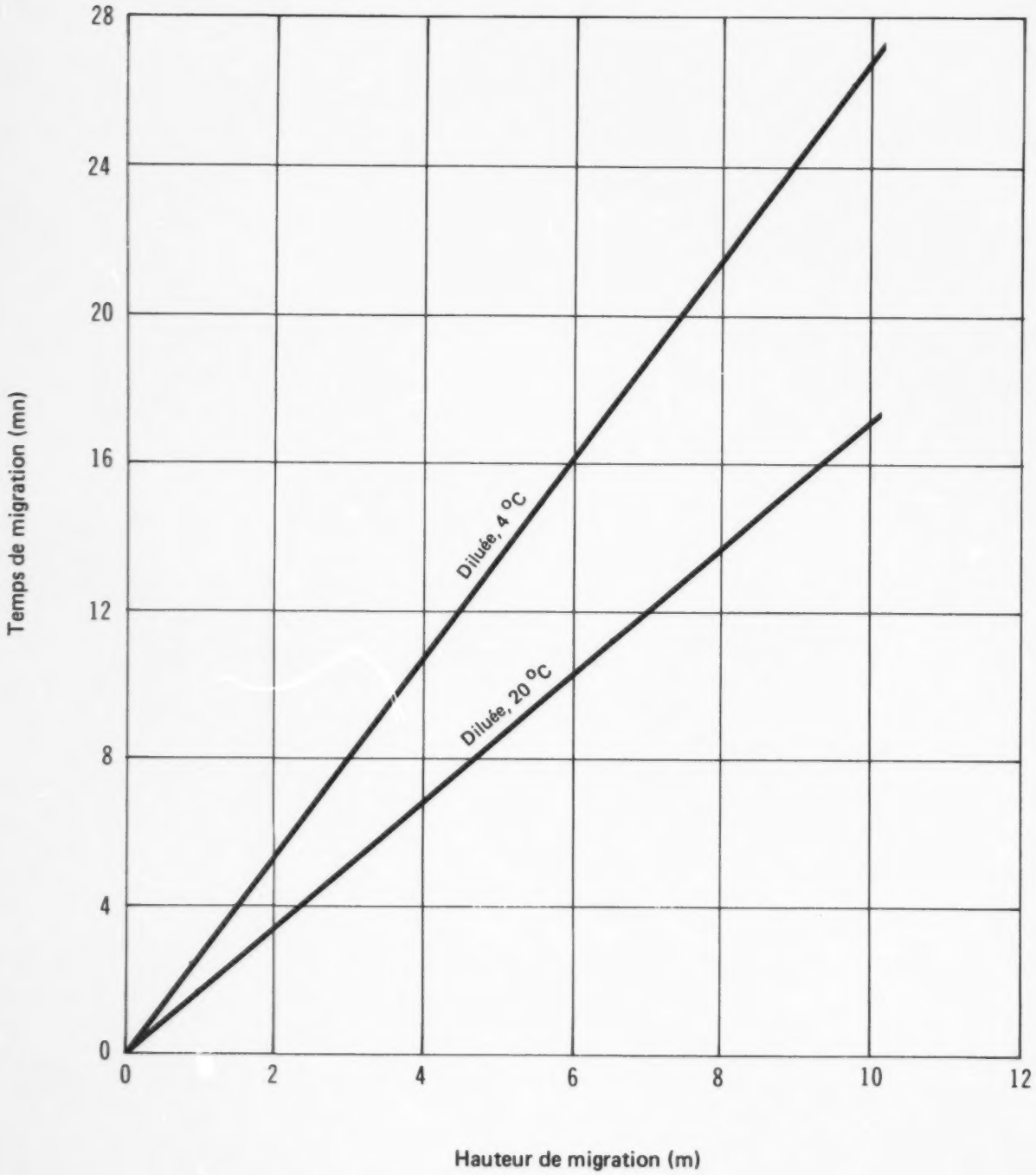


Figure 31

MORPHOLINE

MIGRATION DANS UN SOL LIMONEUX

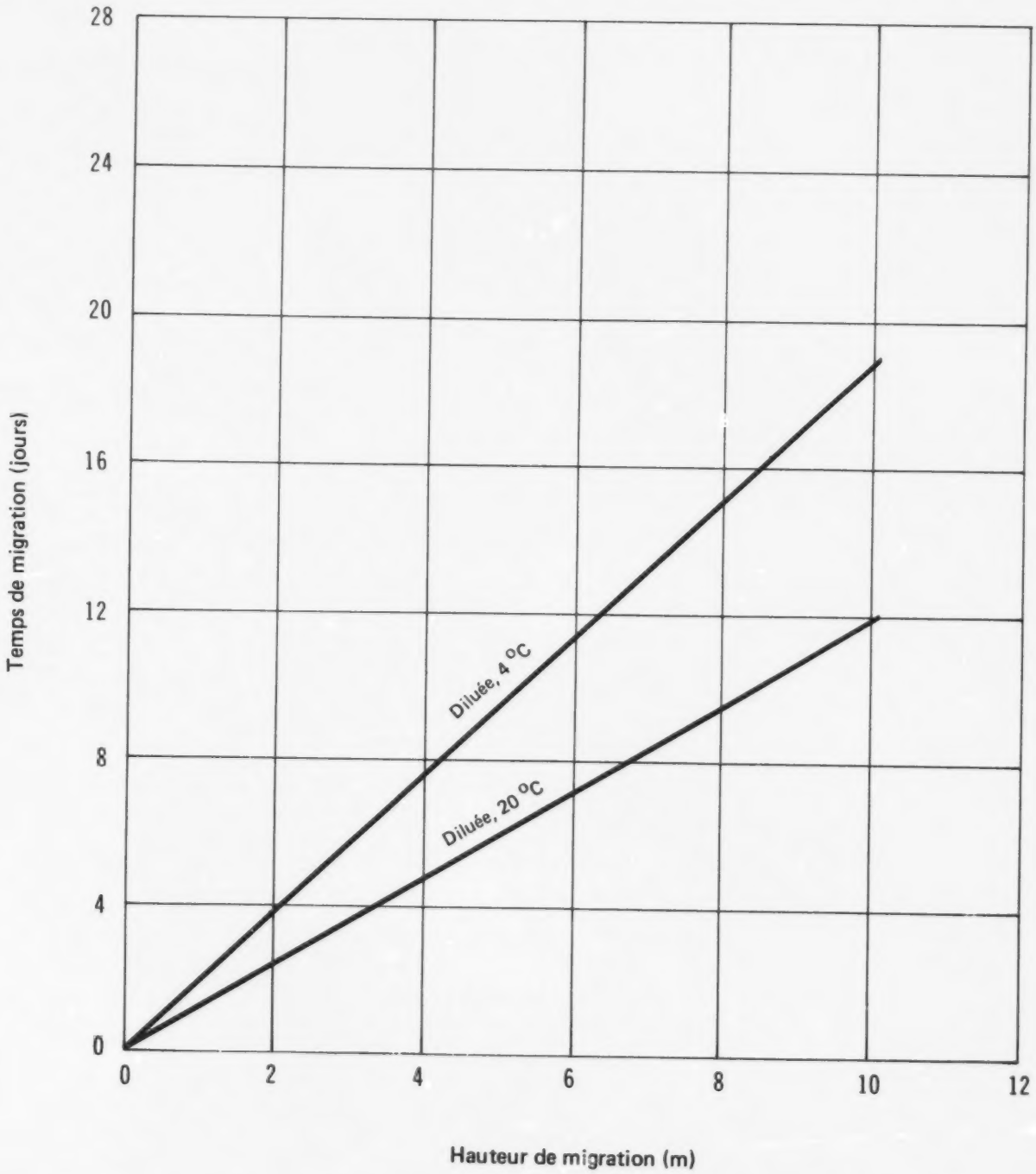
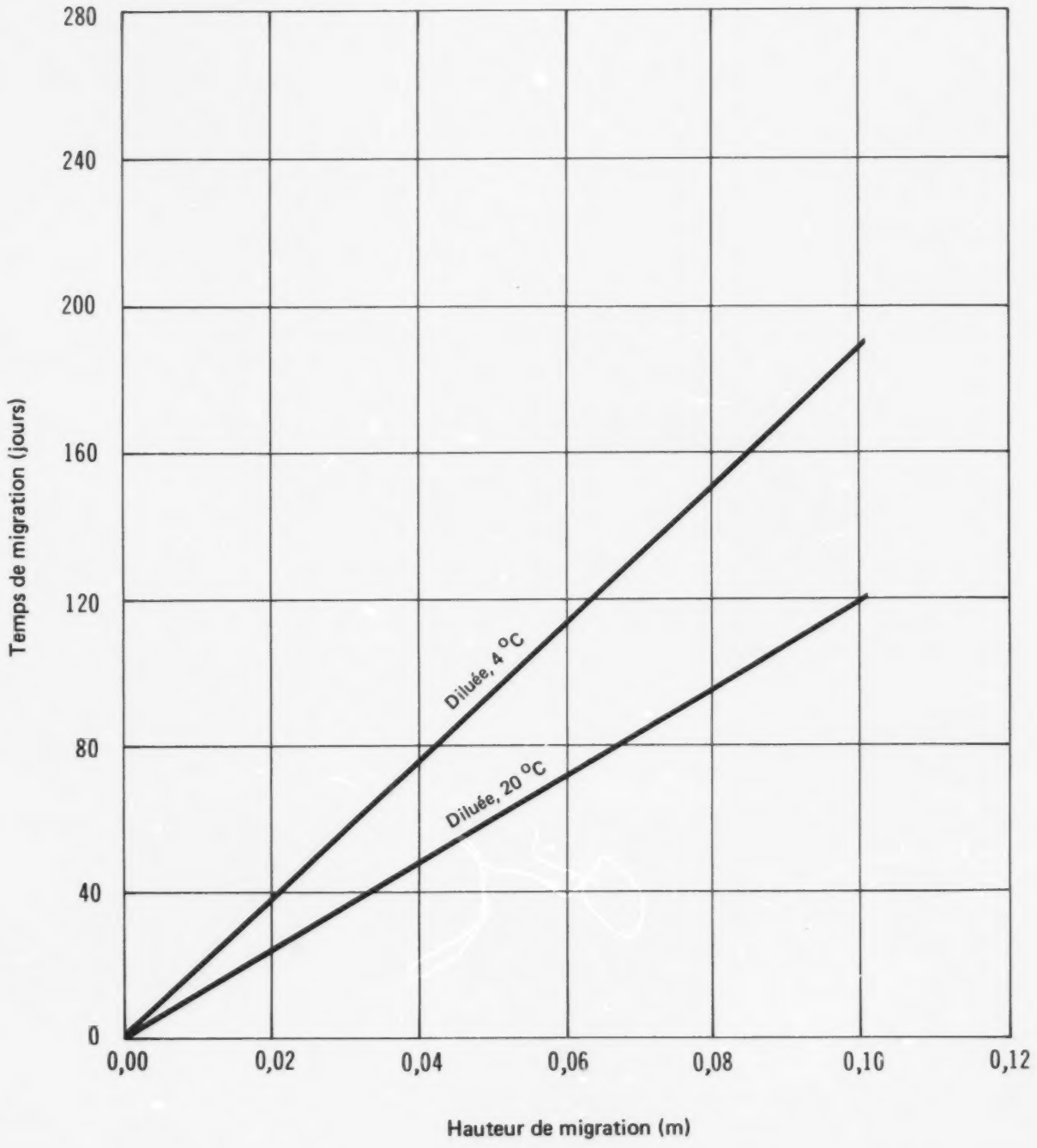


Figure 32

MORPHOLINE

MIGRATION DANS UN TILL ARGILEUX



6 PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

6.1 Limites maximales admissibles

6.1.1 Qualité de l'eau. – Aucune limite n'a été établie.

6.1.2 Qualité de l'air. – Aucune limite n'a été établie.

6.2 Toxicité pour les espèces aquatiques

6.2.1 Évaluation de la toxicité aux États-Unis. – La tolérance moyenne pour 96 heures (TLm 96) a été fixée, pour la morpholine, à une teneur variant entre 100 et 1000 ppm (RTECS, 1979).

6.2.2 Mesure de la toxicité

Toxicité pour les poissons

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Eau	Source
			A. – EAU DOUCE		
119	24	*Daphnia magna*	Teneur létale 50	Statique, 20 °C	Calamari, 1980
350	96	Crapet arlequin	TLm	Statique, 23 °C	U.S. Testing, 1975
380	96	Truite arc-en-ciel	Teneur létale 50	Statique, 20 °C, douce (20 HD)	Calamari, 1980
180	96	Truite arc-en-ciel	Teneur létale 50	Statique, 20 °C, dure (320 HD)	Calamari, 1980
> 1000	96	Dard-perche	Teneur létale 50		WPCF, 1983
240-285	96	Verge d'or	Teneur létale 50		WPCF, 1983
			B. – EAU SALÉE		
400	96	Capucette	Teneur létale 50	Statique, 23 °C	U.S. Testing, 1975

Toxicité pour les micro-organismes

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Eau	Source
4,1		Algue verte (*Scenedesmus quadricauda*)	Inhibition de la multiplication des cellules		Verschueren, 1984
310		Bactérie (*Pseudomonas putida*)	Inhibition de la multiplication des cellules		Verschueren, 1984
28	96	Algue (*Selenastrum capricornutum*)	TE 50: inhibition à 50 p. 100 de la croissance	Statique, 20 °C	Calamari, 1980
1,7		Algue (*Microcystis aeruginosa*)	Inhibition de la multiplication des cellules		Verschueren, 1984

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Eau	Source
12		Protozoaire (*Entosiphon sulcatum*)	Inhibition de la multiplication des cellules		Verschueren, 1984
815		Protozoaire (*Uronema parduczi*)	Inhibition de la multiplication des cellules		Verschueren, 1984

6.3 Toxicité pour les mammifères

Administrée par voie orale, la toxicité aiguë de la morpholine correspond à une dose variant entre 1000 et 2499 mg/kg, établie à partir des données recueillies sur la dose létale 50 pour les mammifères (WQCD-1, 1970).

6.4 Études sur les effets toxiques

La morpholine a été reconnue comme un indicateur olfactif du territoire chez les poissons. Au cours d'une expérience, des poissons de pisciculture de 18 mois ont été exposés à de la morpholine pendant 40 jours. Au cours du frai, un grand nombre des sujets (18 p. 100 par rapport à 1 p. 100 chez les témoins) ont été capturés, attirés par la morpholine mélangée à l'eau (Scholz, 1978). Au cours d'une autre étude, la morpholine a été utilisée pour attirer les poissons dans un tributaire secondaire non fréquenté par les salmonidés anadromes. Un certain nombre de truites et de saumons ont pénétré dans le cours d'eau, permettant de conclure que la morpholine peut être utilisée pour attirer de façon non spécifique les poissons non imprégnés (Mazeaud, 1981). On a utilisé un appareil électrophysique au cours d'une étude en vue de déterminer les teneurs limites. Cette étude a indiqué qu'il n'y avait pas lieu de croire que la truite arc-en-ciel pouvait déceler la présence de morpholine à des teneurs inférieures à 10^{-4} M ou que l'imprégnation pouvait se faire à des teneurs de $5{,}7 \times 10^{-10}$ M (Hara, 1979).

6.5 Dégradation du polluant

Demande biochimique en oxygène

DBO kg/kg	% théorique de DBO	Jours	Milieu d'ensemencement	Méthode	Source
0,02	0,9	5	Eaux usées ordinaires diluées		Verschueren, 1984
> 1	58	10	Milieu de croissance non floculant		Gaufin, 1965
< 1	0,9	5	Eaux usées		Gloyna, 1963
< 1	5,1	20	Eaux usées		Gloyna, 1963
< 1	30	5			Mills, 1955
> 1	70	10			Mills, 1955

Lors d'un essai au respirateur, la morpholine n'a montré aucun signe de dégradation fondamentale (Calamari, 1980).

6.6 Introduction du polluant dans l'environnement

La morpholine est souvent utilisée comme agent inhibiteur de la corrosion dans les chaudières. C'est pourquoi on la retrouve souvent dans la vapeur et même dans l'eau de boisson. Au cours d'une étude, la vapeur de stérilisation utilisée dans un hôpital contenait en moyenne 2,4 mg de morpholine par litre et la vapeur utilisée dans une usine de préparation des aliments contenait en moyenne 1,1 mg de morpholine par litre (Amines, 1979).

6.7 Devenir et effets à long terme

La morpholine se biodégrade à une vitesse moyenne. La documentation ne cite aucun cas de bio-accumulation ni de bio-amplification (OHM-TADS, 1981).

7 PROTECTION DE LA SANTÉ

La morpholine est une huile incolore et hygroscopique à odeur désagréable semblable à celle des composés amines, facilement décelable à des teneurs bien inférieures aux limites d'exposition recommandées (GE, 1979). C'est un amine secondaire. Ses effets sur la santé sont semblables à ceux de l'ammoniac; cependant, les effets systémiques possibles sont plus grands dans le cas de l'exposition à la morpholine (Doc. TLV, 1981). Des dommages causés au foie et aux reins ont été signalés dans des expérimentations animales. La morpholine est facilement absorbée par contact cutané. Ce produit irrite la peau et les yeux chez l'homme bien que la documentation ne mentionne aucun effet chronique résultant d'une exposition répétée (Doc. TLV, 1981).

Notre enquête bibliographique n'a pas permis de découvrir de monographie importante sur les études de toxicité de la morpholine. On sait que les tests de carcinogénicité n'ont donné aucun résultat concluant (Patty, 1981) et qu'il n'y a aucune donnée sur la mutagénicité ou la tératogénicité du produit. Ce dernier figure dans l'inventaire TSCA de l'EPA (RTECS, 1979).

Les données toxicologiques sont extraites de sources dignes de confiance. Il est à noter que certaines données valent pour des expositions de longue durée à de faibles teneurs, de sorte qu'elles ne s'appliquent pas nécessairement dans les cas de déversements. À l'exception des données sur la mutagénicité, la tératogénicité et la carcinogénicité, seules les données sur les expositions de courte durée à de fortes teneurs sont indiquées pour les mammifères (à l'exception de l'homme) pour appuyer l'interprétation des données sur la santé, le cas échéant.

7.1 Normes d'exposition recommandées

Les limites d'exposition à la morpholine sont établies en fonction des effets possibles sur l'organisme entier (en comparaison avec l'ammoniac) et elles sont censées être suffisamment basses pour prévenir toute irritation et tout effet nocif pour les yeux et la vision (Doc. TLV, 1981). Les directives des provinces, au Canada, sont généralement semblables à celles qui ont été élaborées pour l'ACGIH aux États-Unis, sauf indication contraire.

Limites maximales admissibles

Norme	Origine	Teneur admissible	Source
	Moyenne pondérée en fonction du temps		
TLV® (8 h) (épiderme)	USA-ACGIH	20 ppm (≅ 70 mg/m^3)	TLV, 1983
PEL (8 h)	USA-OSHA	20 ppm (≅ 70 mg/m^3)	NIOSH/OSHA, 1981
	Exposition de courte durée		
STEL (15 mn)	USA-ACGIH	30 ppm (≅ 105 mg/m^3)	TLV, 1983
Plafond (15 mn)	USA-OSHA	30 ppm (≅ 105 mg/m^3)	Patty, 1981

Autre aspect de la toxicité pour l'homme

Norme	Origine	Teneur dangereuse	Source
IDLH	USA-NIOSH	8000 ppm	NIOSH Guide, 1978

Indice de toxicité par inhalation. – L'indice de toxicité par inhalation (I.T.I.) représente une mesure de la capacité d'une substance à produire un effet nocif à la suite d'une inhalation. On le calcule de la façon suivante: I.T.I. = 1315,12 (pression de vapeur en mm de Hg/TLV® , en ppm); à 20 °C, I.T.I. = 1315,12 (6,75 mm de Hg/20 ppm); à 20 °C, I.T.I. = $4,44 \times 10^2$.

7.2 Données sur les propriétés irritantes

7.2.1 Contact avec la peau. – La morpholine peut pénétrer une peau intacte. Voir 7.4.4 pour les données sur les effets systémiques provenant d'un contact cutané.

Exposition	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
Non précisée	Des cas d'irritation ont été rapportés.	Patty, 1981
Non précisée	La morpholine est un irritant primaire et provoque des réactions d'hypersensibilité. Les personnes qui souffrent d'une affection cutanée sont plus vulnérables à l'action de cet agent.	NIOSH/OSHA, 1981
• CHEZ LE LAPIN		
995 mg (24 h)	Grave irritation	RTECS, 1979
500 mg	Test directement sur la peau: irritation d'intensité moyenne.	RTECS, 1979
0,9 g/kg (non diluée)	Deux des sept sujets sont morts; les brûlures étaient profondes.	Patty, 1981
0,5 g/kg (24) (non diluée)	Dose létale 50	Kirk-Othmer, 1980
0,5 ml (non diluée)	Effets corrosifs	Patty, 1981

7.2.2 Contact avec les yeux

Exposition	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
«Faibles teneurs»	Le contact a causé un oedème cornéen passager, brouillé la vue et fait «apparaître» des halos autour des ampoules électriques lorsque les travailleurs l'ont subi pendant plusieurs heures. Ces effets ont été observés après le travail et ils étaient disparus le lendemain.	Patty, 1981
Non précisée	Oedèmes cornéens chez des travailleurs	NIOSH/OSHA, 1981
• CHEZ LE LAPIN		
0,1 ml (non diluée)	Taux d'irritation = 67,7/110	Patty, 1981
0,005 ml (non diluée)	Dommage à la cornée	Patty, 1981
Mélange à 40 %	Dommage à la cornée	Patty, 1981
2 mg	Grave irritation	RTECS, 1979

7.3 Données sur les propriétés organoleptiques

7.3.1 Odeur. – La morpholine dégage une odeur désagréable, semblable à celle du poisson et des composés aminés (Verschueren, 1984). Valeur du seuil de perception: 75 000 (Verschueren, 1984).

Seuil	Milieu	Teneur	Source
Seuil de perception	Air	0,01 ppm	ASTM, 1980
Seuil d'identification	Air	0,07 ppm	ASTM, 1980
Seuil d'identification supérieur	Air	0,14 ppm	Verschueren, 1984

7.3.2 **Goût.** – Aucune donnée n'a été recueillie.

7.4 Études sur les effets toxiques

7.4.1 Inhalation

Exposition	Effets	Source
	A. – Exposition de courte durée	
• CHEZ L'HOMME		
12 000 ppm (1 mn)	Irritation des voies nasales	Doc. TLV, 1981
12 000 ppm (1,5 mn)	Toux	Doc. TLV, 1981
Non précisée	Le prélèvement de morpholine au moyen d'une pipette a provoqué un violent mal de gorge et le rougissement des muqueuses. Les symptômes ont disparu après le test.	Doc. TLV, 1981
800 ppm	Aucun effet visible	Ullmann, 1975
• CHEZ LE RAT		
Vapeurs saturantes (4 h)	Mort	Patty, 1981
18 000 ppm (8 h)	Quelques morts	Verschueren, 1984
12 000 ppm (8 h)	Aucune mort. Effets réversibles sur les voies respiratoires et l'organisme entier.	Patty, 1981
8000 ppm (8 h)	Aucune mort chez les six sujets.	Patty, 1981
• CHEZ LE COBAYE		
120 000 ppm (8 h)	Aucune mort. Effets réversibles sur les voies respiratoires et l'organisme entier.	Patty, 1981
• CHEZ LA SOURIS		
1320 mg/m^3	Teneur létale 50	RTECS, 1979
• CHEZ UN ANIMAL (non précisé)		
Non précisée	Irritation des muqueuses nasales et des bronches, comme dans le cas d'une inhalation d'ammoniac; dommage au foie surtout.	Doc. TLV, 1981
	B. – Exposition de longue durée	
• CHEZ L'HOMME		
Non précisée	À de faibles teneurs, des cas d'irritation de la peau et des yeux, ainsi que des voies respiratoires, ont été rapportés. Aucun effet chronique n'a été signalé.	Patty, 1981

7.4.2 Ingestion

Exposition brève	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
Non précisée	Dommage possible au tube digestif	GE, 1979
3,8 g/kg	Dose létale 50	Kirk-Othmer, 1978

Exposition brève	Effets	Source
• CHEZ LE RAT		
1,6 g/kg	Dose létale 50	Patty, 1981
1,05 g/kg	Dose létale 50; hyperémie des poumons	Patty, 1981
• CHEZ LE COBAYE		
0,9 g/kg	Dose létale 50	Patty, 1981
• CHEZ LE HAMSTER		
0,05 g/kg	Dose létale minimale	Patty, 1981

7.4.3 Administration par voie intrapéritonéale

Exposition brève	Effets	Source
• CHEZ LA SOURIS		
0,413 g/kg	Dose létale 50	Patty, 1981

7.4.4 Contact avec la peau. – La morpholine peut être absorbée à travers une peau intacte. La présente section signale seulement les effets systémiques résultant d'une absorption. L'irritation de la peau est traitée en 7.2.1.

Exposition brève	Effets	Source
• CHEZ LE LAPIN		
1,21 g/kg	Dose létale 50; hyperémie des poumons et du foie	Patty, 1981
0,9 g/kg solution aqueuse 50 % vol./vol.	Occlusion. Sept des onze sujets sont morts avant la 11^{e} dose. Brûlures de la peau; traumatisme général.	Patty, 1981
0,5 ml/kg	Dole létale 50	Patty, 1981

7.4.5 Mutagénicité, tératogénicité et carcinogénicité

Exposition	Effets	Source
• CHEZ LA SOURIS		
1330 mg/kg (28 sem.)	Dose létale minimale; néoplasmes (oraux)	ITII, 1981
Non précisée	Exposition à la morpholine et à des composés N-nitroso. La morpholine seule n'a pas entraîné la formation de tumeurs aux poumons; cependant, d'autres tissus n'ont pas été analysés.	Patty, 1981
• CHEZ LE RAT		
Non précisée	Les rats auxquels on a fait absorber seulement de la morpholine n'avaient qu'un petit nombre de tumeurs comparativement aux rats qui ont absorbé de la morpholine et des nitrites. Les rats témoins n'avaient aucune tumeur. La morpholine peut donc être faiblement carcinogène pour les rats.	Patty, 1981

7.5 Symptômes et conséquences de l'intoxication

Aucune source n'est indiquée dans le cas de symptômes de nature courante, signalés dans la plupart des ouvrages de référence. En revanche, les symptômes ou troubles de nature particulière ou inhabituelle sont suivis d'une mention de source.

7.5.1 **Inhalation** (symptômes)

1. Irritation de la peau et des yeux.
2. Irritation des voies respiratoires.
3. Toux (Doc. TLV, 1981).
4. Maux de tête (CHRIS, 1978).
5. Maux de gorge (Doc. TLV, 1981).
6. Nausées (CHRIS, 1978).
7. Difficulté à respirer (CHRIS, 1978).

7.5.2 **Ingestion** (symptômes)

1. Dommage au tube digestif (GE, 1979).

7.5.3 **Contact avec la peau** (symptômes)

1. Irritation de la peau.
2. Réaction des peaux hypersensibles (NIOSH/OSHA, 1981).
3. Brûlures (CHRIS, 1978).
4. Liquide corrosif pour les tissus (GE, 1979).
5. Peut être absorbée par la peau et causer des maux de tête et des nausées (CHRIS, 1978).

7.5.4 **Contact avec les yeux** (symptômes)

1. Apparition de halos autour des lumières (Patty, 1981).
2. Vue temporairement troublée (Patty, 1981).
3. Irritation.
4. Oedème cornéen passager (Patty, 1981).
5. Brûlures (CHRIS, 1978).

7.6 Toxicité des produits de décomposition ou de combustion pour l'homme

Lorsqu'elle est chauffée jusqu'à décomposition, la morpholine émet des vapeurs très toxiques d'oxydes d'azote (Sax, 1981). Les produits de combustion comprennent des oxydes d'azote et de carbone (GE, 1979).

7.6.1 Oxyde nitrique, dioxyde d'azote, tétraoxyde d'azote, monoxyde de carbone et dioxyde de carbone. – L'oxyde nitrique est un gaz incolore qui dégage une odeur douce pénétrante. Il se combine à l'hémoglobine qu'il oxyde dans le sang en méthémoglobine, ce qui cause l'anoxie. L'oxyde nitrique est peu irritant pour les voies respiratoires supérieures et les yeux; on peut donc en inhaler des quantités dangereuses avant d'être incommodé (Sax, 1968). Dans

l'air, l'oxyde nitrique est oxydé en dioxyde d'azote qui est quatre fois plus nocif que l'oxyde nitrique (Patty, 1963). Les TLV® de l'oxyde nitrique sont de 25 ppm (MPT de 8 h) et de 35 ppm (STEL) (TLV, 1983).

À température normale, le dioxyde d'azote et le tétraoxyde d'azote se trouvent toujours ensemble (dans un rapport NO_2/N_2O_4 de 3:7 à 37,5 °C) (Sax, 1968). Aux températures élevées, la proportion de NO_2 augmente. Ces mélanges sont souvent appelés «dioxyde d'azote», un gaz brun foncé à odeur forte et âcre. Le dioxyde d'azote est légèrement irritant pour les yeux, le nez et les muqueuses des voies respiratoires supérieures; on peut donc inhaler des quantités dangereuses de vapeurs avant d'être incommodé. L'oxyde d'azote est légèrement soluble dans l'eau et réagit en présence de l'oxygène pour former les acides nitriques et nitreux. Ces acides sont formés en profondeur dans le système respiratoire où ils irritent les poumons, causant la congestion de la gorge et des bronches et pouvant provoquer un oedème pulmonaire. Les symptômes d'intoxication comprennent des faiblesses, des nausées, des malaises à l'abdomen, la toux, des expectorations mucoïdes écumeuses, un pouls accéléré, une cyanose grave et des convulsions. Une exposition excessive entraîne la mort par asphyxie.

Les symptômes immédiats peuvent disparaître si le patient respire de l'air frais; cependant, les symptômes susmentionnés peuvent n'apparaître qu'après 6 à 24 heures. Dans les cas fatals, le décès se produit 8 à 48 heures après l'exposition. Les TLV® du NO_2 sont de 3 ppm (MPT de 8 h) et de 5 ppm (STEL) (TLV, 1983). Il n'existe aucune TLV® pour le tétraoxyde d'azote.

Le monoxyde de carbone est un gaz incolore, presque inodore et c'est un asphyxiant chimique. Il cause l'hypoxémie en formant un complexe avec l'hémoglobine et en réduisant la capacité du sang à transporter l'oxygène. Des expositions excessives à ce composé entraînent la mort par asphyxie. Des expositions d'intensité moindre peuvent causer des maux de tête et affecter les facultés mentales. Les effets des expositions d'intensité moyenne sont réversibles, bien qu'il faille beaucoup de temps pour inverser la réaction de complexation monoxyde de carbone-hémoglobine. Les TLV® du monoxyde de carbone sont de 50 ppm (MPT de 8 h) et de 400 ppm (STEL) (TLV, 1983).

Le dioxyde de carbone est un gaz incolore et inodore qui, à des teneurs élevées, peut produire des effets narcotiques doux, stimuler la respiration et provoquer l'asphyxie. Ses TLV® sont de 5000 ppm (MPT de 8 h) et de 15 000 ppm (STEL) (TLV, 1983).

8 COMPATIBILITÉ CHIMIQUE

8.1 Compatibilité entre la morpholine et divers agents

Produit chimique ou groupe de produits chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
En général														
Feu					●	●							Formation possible de vapeurs très toxiques d'oxydes d'azote.	Sax, 1979; NFPA, 1978
Chaleur		●			●	●							Liquide inflammable. Lorsqu'il est chauffé jusqu'à décomposition, il produit des vapeurs très toxiques d'oxydes d'azotes.	Sax, 1979; NFPA, 1978
Produits chimiques														
Acides organiques	●						●							Ashland MDS, 1978
Agents oxydants	●				●								Formation de vapeurs toxiques d'oxydes d'azote.	EPA 600/2-80-076
Agents réducteurs	●	●	●										Il peut y avoir production de gaz hydrogène inflammable et incendie.	EPA 600/2-80-076
Alcalis énergiques	●						●							Ashland MDS, 1978
Alcalis et métaux alcalino-terreux			●										Il peut y avoir production de gaz hydrogène inflammable.	EPA 600/2-80-076
Époxydes	●												Il peut y avoir condensation et ouverture de l'anneau, entraînant une polymérisation possible.	EPA 600/2-80-076
Isocyanates	●									●			Réaction incontrôlable.	EPA 600/2-80-076

Produit chimique ou groupe de produits chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Matières organiques halogénées	●													EPA 600/2-80-076
Métaux toxiques										●			Accroissement de la solubilité des composés de métaux toxiques dans l'eau.	EPA 600/2-80-076
Nitrate de cellulose		●											Inflammation spontanée.	Bretherick, 1979
Nitrométhane			●										Danger d'explosion en cas de détonation.	Bretherick, 1979
Peroxydes organiques	●					●							Polymérisation possible avec formation de vapeurs toxiques d'oxydes d'azote.	EPA 600/2-80-076

9 MESURES D'INTERVENTION ET DE SÉCURITÉ

9.1 Mesures recommandées

Les brefs exposés qui figurent dans la présente section sont repris des ouvrages sur lesquels a porté notre enquête bibliographique. Leur formulation originale a même été respectée afin d'éviter toute déformation de sens. Ce faisant, il devenait impossible d'empêcher que n'apparaissent d'éventuels désaccords entre les sources. D'autre part, le lecteur notera que la mention d'une mesure ne constitue d'aucune façon une recommandation de la part d'Environnement Canada.

9.1.1 Danger d'incendie. – La morpholine est un liquide inflammable. Ses vapeurs peuvent se répandre le long des surfaces jusqu'à une source d'allumage, ce qui peut provoquer un retour de flamme (NFPA, 1978; Ashland MSDS, 1978). Les récipients peuvent exploser à la chaleur (ERG, 1980).

9.1.2 Moyens d'extinction. – Refroidir les récipients à l'aide de jets d'eau pour empêcher la rupture des parois (NFPA, 1978; ERG, 1980).

Petit feu: poudre sèche, neige carbonique, vaporisation d'eau ou mousse anti-alcool.
Grand feu: eau pulvérisée, brouillard d'eau ou mousse.

Enlever les récipients de la zone d'incendie si cela peut être fait sans danger. Éviter que de l'eau pénètre dans les récipients (ERG, 1980).

9.1.3 Mesures d'intervention en cas de déversement

9.1.3.1 Information générale. – Arrêter l'écoulement ou réduire le débit, si cela ne présente aucun danger. Éliminer toute source d'inflammation. Éviter tout contact cutané avec le produit ou toute inhalation de ses vapeurs (GE, 1977). De l'eau pulvérisée doit être utilisée pour disperser les vapeurs et pour protéger ceux qui essaient de confiner le liquide déversé (NFPA, 1978). Une mousse de fluorocarbure et d'eau peut être appliquée sur le liquide déversé pour diminuer les vapeurs et les risques d'incendie (EPA 670/2-75-042). Le cellosize, un agent absorbant, peut être utilisé pour supprimer les vapeurs et confiner la morpholine déversée (ICI, 1982).

9.1.3.2 Déversement sur le sol. – Dans la mesure du possible, confiner la nappe à l'aide de barrages mécaniques pour empêcher le liquide de se répandre (EPA 670/2-75-042) et récupérer à l'aide de pompes le plus de produit possible dans un récipient de récupération (Ashland MSDS, 1978). Le liquide qui reste peut être neutralisé à l'aide de vinaigre, d'acide dilué ou de phosphate diacide de sodium (EPA 670/2-75-042; CG-D-16-77). Il peut également être absorbé par du sable ou de la vermiculite (GE, 1977; Ashland MSDS, 1978).

9.1.3.3 Déversement dans l'eau. – Dans la mesure du possible, confiner la nappe au moyen de barrages naturels pour empêcher le liquide de s'étaler (EPA 670/2-75-042). Il est recommandé d'utiliser du phosphate diacide de sodium comme neutralisant *in situ* pour éviter toute surdose d'acide (CG-D-16-77). On peut utiliser de l'acide dilué ou un acide fort sans danger pour l'environnement comme neutralisant. On peut aussi répandre des agents absorbants comme le charbon actif, l'Amberlite ZAD ou IRA 900 et du Dowex 50WX8 (CG-D-38-76).

9.1.4 Nettoyage et traitement

9.1.4.1 Déversement dans l'eau. – Du charbon actif peut être appliqué sur la portion dissoute dans une proportion égale à 10 p. 100 de la quantité de produit déversé dans la zone où les teneurs atteignent 10 mg/l et plus. On peut ensuite utiliser des dragues pour récupérer les masses immobilisées de polluants et de précipités (EPA 670/2-75-042).

9.1.4.2 Information générale. – Les procédés de traitement suivants constituent des mesures d'intervention possibles en cas de déversement accidentel.

Procédé	% d'élimination (TSA, 1980)
Adsorption sur charbon actif	100
Adsorption sur résine	100

La morpholine peut être également enlevée des eaux polluées par des boues actives (Metry, 1980).

9.1.5 Élimination du polluant. – La morpholine recueillie ne doit jamais être rejetée dans les eaux de surface ou dans les égouts. Elle peut être brûlée dans un incinérateur approuvé muni d'un dispositif de post-combustion et d'un épurateur pour éliminer tous les oxydes d'azote toxiques (GE, 1977).

9.1.6 Appareils et vêtements de protection. – Avant d'entrer dans une zone où ni le produit déversé ni ses propriétés ne sont connus, il faut revêtir un scaphandre résistant aux agents chimiques.

Si le produit déversé est de la morpholine:

- L'équipe d'intervention doit porter des vêtements imperméables, des gants, des visières pare-acide (de 20 cm au minimum) et tout autre vêtement requis pour prévenir tout risque de contact cutané répété ou prolongé avec la morpholine liquide et ses solutions (NIOSH/OSHA, 1981);
- Le caoutchouc de styrène-butadiène a un temps de protection supérieur à 1 heure. Les matériaux de fabrication suivants ont présenté des temps de protection d'environ 1 heure: le caoutchouc butylique, le nitrile enduit de PVC, l'alcool polyvinylique, le PVC et le viton (Little, 1983);
- Il est recommandé de porter des gants en néoprène ou en caoutchouc butylique (GE, 1977);
- Le caoutchouc butylique est considéré comme un excellent matériau (bonne résistance) pour la fabrication des scaphandres de protection contre la morpholine (EE-20);
- Tout vêtement qui est mouillé ou souillé par de la morpholine liquide doit être enlevé immédiatement et ne peut être porté à nouveau aussi longtemps que la morpholine n'en a pas été éliminée (NIOSH/OSHA, 1981);
- On doit trouver sur les lieux d'intervention des bains oculaires automatiques et des douches à fort débit, faciles d'accès (GE, 1977);
- Les appareils de protection respiratoires suivants constituent la protection minimale recommandée pour les personnes travaillant en présence de morpholine (NIOSH/OSHA, 1981).

Protection respiratoire minimale pour une teneur supérieure à 20 ppm

Situation	Équipement*
1000 ppm ou moins	Tout appareil respiratoire à adduction d'air muni d'un masque couvre-visage, d'un casque ou d'une cagoule. Tout appareil respiratoire autonome muni d'un masque couvre-visage.
8000 ppm ou moins	Appareil respiratoire de type C muni d'un masque couvre-visage pulmo-commandé à surpression ou alimenté par tout autre système à pression superatmosphérique ou muni d'un masque couvre-visage, d'un casque ou d'une cagoule pulmo-commandé/à débit constant.
> 8000 ppm ou pénétration et évacuation lorsqu'on ignore la teneur	Appareil respiratoire autonome avec masque couvre-visage pulmo-commandé à surpression ou alimenté par tout autre système à pression superatmosphérique. Ensemble comprenant un appareil respiratoire à adduction d'air de type C, avec masque couvre-visage pulmo-commandé à surpression, alimenté par tout autre système à pression superatmosphérique ou pulmo-commandé/à débit constant et un appareil respiratoire auxiliaire pulmo-commandé à surpression ou alimenté par tout autre système à pression superatmosphérique.
Lutte contre l'incendie	Appareil respiratoire autonome avec masque couvre-visage, pulmo-commandé à surpression ou alimenté par tout autre système à pression superatmosphérique.
Évacuation des lieux	Tout masque à gaz étanche aux vapeurs organiques. Tout appareil respiratoire autonome permettant d'évacuer les lieux.

* Seuls les appareils homologués par le NIOSH ou la OSHA doivent être utilisés.

9.1.7 Entreposage. – Il faut entreposer le produit dans un local bien aéré à l'épreuve des incendies. Il est interdit de fumer ou d'utiliser des flammes nues dans les lieux de stockage ou d'utilisation du produit. Les récipients doivent être mis à la terre et reliés lorsqu'il y a transfert de morpholine. Il faut utiliser des outils antidéflagrants (GE, 1977).

Éviter tout contact avec des agents oxydants, des alcalis et des acides forts. Les récipients vides peuvent être dangereux (Ashland MSDS, 1978).

10 CAS DE DÉVERSEMENT ACCIDENTEL

10.1 Information générale

Le chapitre 10 donne en principe des renseignements qui permettent au lecteur de mieux comprendre le processus d'intervention et les mesures de lutte que requiert un déversement accidentel. Les cas rapportés sont choisis en fonction de certains critères; il ne faut pas voir dans le nombre de cas décrits une indication relative à l'ampleur ou à la fréquence des déversements.

Lorsqu'il y aura une nouvelle édition du présent guide, les auteurs procéderont à une mise à jour qui permettra de présenter dans ce chapitre toute information pertinente qui rendra compte du progrès des techniques d'intervention.

11 IDENTIFICATION ET DOSAGE DU POLLUANT

Les méthodes d'analyse utilisées pour l'identification et le dosage des polluants chimiques d'intérêt prioritaire sont expliquées dans les lignes qui suivent.

Les méthodes décrites et les références signalées ont été choisies en fonction d'analyses d'échantillons d'air, d'eau et de sol devant être faites dans un laboratoire de chimie doté d'un équipement standard, éloigné du lieu d'où proviennent les prélèvements. Les auteurs ont consulté les sources habituelles exposant les méthodes normalisées ou recommandées, et décrit sommairement celles qui s'appliquent à chaque produit chimique. Parmi ces sources, on compte des publications du National Institute for Occupational Safety and Health des États-Unis (NIOSH), de l'Environmental Protection Agency des États-Unis (EPA), de l'American Water Works Association, de l'American Society for Testing and Materials et de l'American National Standards Institute.

Lorsque les méthodes normalisées ou recommandées ont été jugées fiables et suffisamment spécifiques pour l'analyse des échantillons provenant des matières déversées et du milieu touché et lorsqu'elles ne nécessitaient pas un équipement de laboratoire hautement spécialisé, nous n'avons pas cherché plus loin. Enfin, lorsque nous avons découvert des tests simples et fiables, couramment utilisés dans l'industrie, nous les avons signalés.

11.1 Dosage du polluant présent dans l'air (analyse quantitative)

11.1.1 Chromatographie en phase gazeuse. – On peut détecter des teneurs en morpholine de 28,5 à 108,4 mg/m^3 (5,4 à 20,6 ppm) dans l'air par chromatographie en phase gazeuse avec un détecteur à flamme ionisante (NIOSH, 1977).

Un volume d'air mesuré est aspiré dans un tube de gel de silice de 7 cm x 6 mm de diamètre extérieur contenant deux sections de gel de granulométrie 20/40 séparées par une portion de mousse de polyuréthane d'une épaisseur de 2 mm. La première section contient 150 mg, tandis que la seconde ne contient que 75 mg. Il est recommandé de prendre un échantillon de 20 l d'air prélevé à raison de 200 ml/mn.

Le tube contenant le gel de silice est rayé avant la première section de gel et brisé. La majeure partie du gel de silice est transférée dans un contenant à échantillon de 2 ml muni d'un bouchon contenant 1 ml d'acide sulfurique 0,05 *M*. On laisse l'échantillon se désorber pendant 30 minutes. Une portion de 0,5 ml de l'échantillon désorbé est transférée dans un ballon propre dans lequel sont ajoutés 50 µl d'hydroxyde de sodium 1,2 *M*. Le pH de la solution résultante doit être supérieur à 10. Une portion de 5 µl d'échantillon est injectée dans un chromatographe à gaz équipé d'un détecteur à flamme ionisante. La section de réserve est traitée de la même façon afin de déterminer si la quantité recueillie dépasse la capacité de la première section.

La présence de morpholine est décelée par un intégrateur électronique qui mesure l'aire sous la courbe en fonction d'une courbe d'étalonnage.

Voici des conditions types de fonctionnement du chromatographe à gaz: débit du gaz vecteur (azote) de 50 ml/mn; débit d'hydrogène de 65 ml/mn; débit de l'air de 500 ml/mn; température de l'injecteur de 250 °C; température du détecteur de 280 °C et une température de la colonne de 200 °C, avec une colonne d'acier inox de 4 pieds x 1/4 de pouce de diamètre garnie de Chromosorb 103, de granulométrie 80/100, avec une précolonne de 3 pouces d'Ascarite insérée au point d'injection.

11.2 Identification du polluant présent dans l'air (analyse qualitative)

Un tube de détection Gastec peut être utilisé pour déceler la morpholine présente dans l'air à raison de 2 à 30 ppm. Un volume d'air déterminé est aspiré à l'aide d'une pompe Gastec dans un tube de détection Gastec pour la morpholine. Un changement de couleur de rose à jaune indique la présence de morpholine. Le changement de couleur est dû à la réaction de la morpholine avec l'acide sulfurique, mesuré par l'indicateur bleu de thymol (Gastec).

11.3 Dosage du polluant présent dans l'eau (analyse quantitative)

11.3.1 Colorimétrie. – La présente méthode permet de déceler la morpholine présente dans l'eau à des teneurs variant de 1 à 5 ppm. Des teneurs supérieures peuvent être calculées par dilution de l'échantillon (ASTM, 1979).

Un volume minimal de 2 l d'échantillon représentatif est recueilli dans un contenant en verre à bouchon garni de polyéthylène. Un volume de 100 ml d'échantillon est transféré dans une bouteille de 227 ml à bouchon garni de polyéthylène. Une goutte de formaldéhyde à 37 p. 100 est ajoutée et l'échantillon est agité pendant 15 secondes. Un volume de 5 ml d'une solution saturée de tétraborate de sodium est ajouté, puis 2 gouttes de disulfure de carbone. La solution de tétraborate de sodium est préparée en dissolvant 40 g de tétraborate de sodium décahydraté dans un litre d'eau et en ajustant le pH à 9,5 avec de l'hydroxyde de sodium 0,5 *N*.

Un volume de 1 ml de sulfate de cuivre (2 g/l) est ajouté à l'échantillon, puis l'échantillon est agité, et une goutte de Triton X-100 est ajoutée. La solution est agitée pendant 4 minutes et transférée dans une ampoule à décantation de 125 ml. On laisse reposer l'échantillon pendant une minute et il est ensuite agité pendant 15 secondes, puis on laisse reposer encore une minute. L'échantillon est alors extrait et l'absorption est déterminée à l'aide d'un spectrophotomètre adéquat réglé à 430 mm utilisant des cuves de verre compatibles de 1 cm. La teneur en morpholine est déterminée à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

11.4 Identification du polluant présent dans l'eau (analyse qualitative)

Un volume de 100 ml d'échantillon est versé dans un bécher. Une goutte de formaldéhyde à 37 p. 100 est ajoutée et le mélange est agité pendant 15 secondes. Un volume de 5 ml de borate de sodium (40 g/l) est ajouté, puis 2 gouttes de disulfure de carbone. On ajoute 1 ml d'une solution de sulfate de cuivre (2 g/l), on agite la solution, on la laisse ensuite reposer pendant une minute et on ajoute 1 goutte de Triton X-100. Le mélange est ensuite agité et transféré dans une ampoule à décantation de 125 ml; on laisse reposer pendant une minute, puis la solution est agitée pendant 15 secondes et on laisse reposer pendant une autre minute. La formation d'un complexe brun indique la présence de morpholine (ASTM, 1979).

11.5 Dosage du polluant présent dans le sol (analyse quantitative)

11.5.1 Spectroscopie infrarouge. – La spectrophotométrie infrarouge permet de déceler la morpholine présente à des teneurs supérieures à 40 ppm (AWWA, 1981).

On introduit dans un flacon en verre 20 grammes de sol, pesé avec précision, que l'on sèche sur le sulfate de magnésium. On utilise du fréon 113 (trichloro-1,1,2 trifluoro-1,2-2 éthane) pour extraire la morpholine. On procède à trois extractions, utilisant chaque fois 30 ml de fréon. Les extraits sont combinés dans une fiole jaugée de 100 ml. Le volume est ajusté à 100 ml avec du fréon. La présence de morpholine est décelée à l'aide d'un spectrophotomètre IR fonctionnant de 3200 cm^{-1} à 2700 cm^{-1} avec des cuves de verre compatibles de 1 cm. La teneur en morpholine de l'échantillon est calculée à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

11.6 Identification du polluant présent dans le sol (analyse qualitative)

L'échantillon est prélevé et extrait comme en 11.5.1. L'échantillon est analysé à l'aide d'un spectrophotomètre IR fonctionnant de 3200 cm^{-1} à 2700^{-1} dans des cuves de verre compatibles de 1 cm. Des bandes d'absorption caractéristiques indiquent la présence de morpholine (AWWA, 1981).

12 RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE*

12.1 Références

Amines 1979: Health and Welfare Canada, Amines in Steam, Ottawa, Ontario, 79-EM9-39. (1979).

Ashland MSDS 1978: Ashland Chemical Company, Material Safety Data Sheet, "Morpholine", Columbus, OH. (October, 1978).

Ashland TD 1980: Ashland Chemical Company, Technical Data, Columbus, OH. (August, 1980).

ASS: Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario. Not dated.

ASTM 1979: American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31: Water, Philadelphia, PA, D1942, D1192, D3370. (1979).

ASTM 1980: American Society for Testing and Materials, Compilation of Odor and Taste Threshold Values Data, Philadelphia, PA, ASTM Data Series DS-48A. (1980).

AWWA 1981: American Water Works Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th Edition, American Public Health Association, Washington, DC, Method 503B. (1981).

Benson 1958: Benson, S.W., Cruickshank, F.R., et al., "Additivity Rules for the Estimation of Thermochemical Properties", J. Chem. Phys., Vol. 29, No. 546. (1958).

Bretherick 1979: Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, Second Edition, Butterworths, London, England. (1979).

Calamari 1980: Calamari, D., Da Gasso, R., Galassi, S., et al., "Biodegradation and Toxicity of Selected Amines on Aquatic Organisms", Chemosphere, Vol. 9, pp. 753-762. (1980).

CBG 1980: Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario. (December, 1980).

CCPA 1981: The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario. (October, 1981).

CDS 1967: National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, TX. (1967).

CG-D-16-77: Drake, E., et al., A Feasibility Study of Response Techniques for Discharges of Hazardous Chemicals that Disperse Through the Water Column, U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-D-16-77. (July, 1976).

* Listes reproduites de l'édition anglaise.

CG-D-38-76: Bauer, W.H., Borton, D.N., et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-D-38-76. (August, 1975).

CHRIS 1974: U.S. Department of Transportation, CHRIS Hazard Assessment Handbook, U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-446-3. (April, 1974).

CHRIS 1978: U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC. (1978).

Corpus 1979: Corpus Information Services Ltd., "Morpholine", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario. (January, 1979).

CRC 1980: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH. (1980).

DCRG 1978: Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI. (1978).

Doc. TLV 1981: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, Fourth Edition, Cincinnati, OH. (1981).

Dow PPS 1972: Dow Chemical Company, Dow Plastic Lined Piping Systems, Midland, MI, Brochure 178-102-72. (1972).

DPIMR 1981: Sax, N.I. (ed.), Dangerous Properties of Industrial Materials Report. (1981).

EE-20: Buchan, Lawton, Parent Ltd., A Survey of Self-Contained Breathing Apparatus and Totally-Encapsulated Chemical Protection Suits, Unedited Version. Not dated.

EPA 600/2-80-076: Hatayama, H.K., Chen, J.J., deVera, E.R., Stephens, R.D., Storm, D.L., A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. (April, 1980).

EPA 670/2-75-042: Pilie, R.J. et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 670/2-75-042. (June, 1975).

ERG 1980: U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC. (1980).

Gastec: Gastec Precision Gas Detector System, Blue Book, (No Publisher Listed), p. 7. Not dated.

Gaufin 1965: Gaufin, A.R., Jensen, L.D., Nebeker, A.V., Nelson, T., "Toxicity of Ten Organic Insecticides to Various Aquatic Invertebrates", Water Sewage Works, Vol. 112, pp. 276, 279. (1965).

GE 1977: General Electric Company, Material Safety Data Sheets, "Morpholine", Material Safety Information Services, Schenectady, NY. (January, 1977).

GE 1979: General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, NY. (August, 1979).

GF: GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, CA. Not dated.

Gloyna 1963: Gloyna, E.F., Malina, J.F. Jr., "Petrochemical Wastes Effects on Water", Water Sewage Works. (1963).

Hansch and Leo 1979: Hansch, C., Leo, A., Substitute Constants for Correlation Analysis in Chemistry and Biology, John Wiley & Sons Inc., New York, NY. (1979).

Hara 1979: Hara, T.J., Brown, S.B., "Olfactory Bulbar Electrical Responses of Rainbow Trout (*Salmo Gairdneri*) Exposed to Morpholine During Smoltification," J. Fish. Res. Board Can., Vol. 36, pp. 1186-1190. (1979).

ICI 1982: Imperial Chemical Industries (ICI), Treatment of Organic Compounds, Appendix 7, Cheshire, England. (April, 1982).

ISH 1977: Mellan, I., Industrial Solvents Handbook, Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ. (1977).

ITII 1981: International Technical Information Institute, Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual for Handling and Disposal with Toxicity and Hazard Data, Japan. (1981).

Kirk-Othmer 1978: Grayson, M., Eckroth, D. (ed.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Vol. 2, John Wiley & Sons Inc., New York, NY. (1978).

Little 1983: Schwope, A.D., Costas, P.P., Jackson, J.O., Weitzman, D.J., Guidelines for the Selection of Chemical Protective Clothing, Arthur D. Little Inc., for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. (1983)

Mazeaud 1981: Mazeaud, F., "Morpholine, A Non Specific Attractant for Salmonids," Aquaculture, Vol. 26, pp. 184-191. (1981).

Merck 1976: Windholz, M., Budavari, S., Stroumtsos, L.Y., Fertig, M.N. (ed.), The Merck Index, Ninth Edition, Merck & Co. Inc., Rahway, NJ. (1976).

Metry 1980: Metry, A.A., The Handbook of Hazardous Waste Management, Technomic Publishing Company, Inc., Westport, CT. (1980).

Mills 1955: Mills, E.J., Stack, V.T. Jr., "Suggested Procedure for Evaluation of Biological Oxidation of Organic Chemicals", Sewage Ind. Wastes. (1955).

NFPA 1978: National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, MA. (1978).

NIOSH 1977: National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, Second Edition, Vol. 3, S. 150, Cincinnati, OH. (April, 1977).

NIOSH Guide 1978: U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, U.S. Department of Health, Education and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, DC. (1978).

NIOSH/OSHA 1981: U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123. (1981).

OHM-TADS 1981: Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, DC. (1981).

Patty 1963: Patty, A., Fassett, D.W., Irish, D.D. (ed.), Industrial Hygiene and Toxicology, Second Revised Edition, Vol. II, "Toxicology", Interscience Publishers, New York, NY. (1963).

Patty 1981: Clayton, G.D., Clayton, F.E. (ed.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vols. 2A, 2B, Third Revised Edition, John Wiley and Sons Canada Limited, Toronto, Ontario. (1981).

PC 1982: Personal Communication, Duriron Canada Inc., London, Ontario. (10 August 1982).

PPCC 1955: Physical Properties of Chemical Compounds, Vol. 1, American Chemical Society, Washington, DC. (1955).

Rouse 1961: Rouse, H., Fluid Mechanics for Hydraulic Engineers, Dover Publications, Inc., New York, NY. (1961).

RTDCR 1974: Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario. (1974).

RTECS 1979: Lewis, R.J., Tatken, R.L., Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH. (September, 1980).

Sax 1968: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, Third Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1968).

Sax 1979: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, Fifth Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1979).

Scholz 1978: Scholz, A.T., Cooper, J.C., Horral, R.M., Hasler, A.D., "Homing of Morpholine-Imprinted Brown Trout, *Salmo Trutta*," Fishery Bulletin, Vol. 76, No. 1, pp. 293-295. (1978).

Streeter 1971: Streeter, V.L., Fluid Mechanics, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1971).

TCM 1979: General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, IL. (May, 1979).

TDGC 1980: Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada. (June, 1980).

TLV 1983: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV•s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, OH. (1983).

TSA 1980: Shuckrow, A.J., Pajak, A.P., Osheka, J.W., Concentration Technologies for Hazardous Aqueous Waste Treatment, Touhill, Shuckrow and Associates, Inc., Pittsburgh, PA. (1980).

Ullmann 1975: Ullmanns Encyklopaedie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim. (1975).

Union Chem. 1976: Union Chemicals, Solvent Chemicals, Polymer Emulsions, Hot Melt Adhesives, Union Oil Co. of California. (1976).

U.S. Testing 1975: Data Collection by U.S. Testing under contract to Battelle-Northwest. (14 January 1975).

Verschueren 1984: Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1984).

WPCF 1983: Journal of the Water Pollution Control Federation, Vol. 54, No. 6. (1983).

WQCDB-1 1970: Water Quality Criteria Data Book: Organic Chemical Pollution of Freshwater, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC, Vol. 1. (1970).

12.2 Bibliographie

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, Fourth Edition, Cincinnati, OH. (1981).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV•s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, OH. (1983).

American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31: Water, Philadelphia, PA, D1942, D1192, D3370. (1979).

American Society for Testing and Materials, Compilation of Odor and Taste Threshold Values Data, Philadelphia, PA, ASTM Data Series DS-48A. (1980).

American Water Works Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th Edition, American Public Health Association, Washington, DC, Method 503B. (1981).

Ashland Chemical Company, Material Safety Data Sheet, "Morpholine", Columbus, OH. (October, 1978).

Ashland Chemical Company, Technical Data, Columbus, OH. (August, 1980).

Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario. Not dated.

Bauer, W.H., Borton, D.N., et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-D-38-76. (August, 1975).

Benson, S.W., Cruickshank, F.R., et al., "Additivity Rules for the Estimation of Thermochemical Properties", J. Chem. Phys., Vol. 29, No. 546. (1958).

Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, Second Edition, Butterworths, London, England. (1979).

Buchan, Lawton, Parent Ltd., A Survey of Self-Contained Breathing Apparatus and Totally-Encapsulated Chemical Protection Suits, Unedited Version. Not dated.

Calamari, D., Da Gasso, R., Galassi, S., et al., "Biodegradation and Toxicity of Selected Amines on Aquatic Organisms", Chemosphere, Vol. 9, pp. 753-762. (1980).

The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario. (October, 1981).

Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario. (1974).

Clayton, G.D., Clayton, F.E. (ed.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vols. 2A, 2B, Third Revised Edition, John Wiley and Sons Canada Limited, Toronto, Ontario. (1981).

Corpus Information Services Ltd., "Morpholine", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario. (January, 1979).

Data Collection by U.S. Testing under contract to Battelle-Northwest. (14 January 1975).

Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI. (1978).

Dow Chemical Company, Dow Plastic Lined Piping Systems, Midland, MI, Brochure 178-102-72. (1972).

Drake, E., et al., A Feasibility Study of Response Techniques for Discharges of Hazardous Chemicals that Disperse Through the Water Column, U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-D-16-77. (July, 1976).

Gastec Precision Gas Detector System, Blue Book, (No Publisher Listed), p. 7. Not dated.

Gaufin, A.R., Jensen, L.D., Nebeker, A.V., Nelson, T., "Toxicity of Ten Organic Insecticides to Various Aquatic Invertebrates", Water Sewage Works, Vol. 112, pp. 276, 279. (1965).

General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, IL. (May, 1979).

General Electric Company, Material Safety Data Sheets, "Morpholine", Material Safety Information Services, Schenectady, NY. (January, 1977).

General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, NY. (August, 1979).

GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, CA. Not dated.

Gloyna, E.F., Malina, J.F. Jr., "Petrochemical Wastes Effects on Water", Water Sewage Works. (1963).

Grayson, M., Eckroth, D. (ed.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Vol. 2, John Wiley & Sons Inc., New York, NY. (1978).

Hansch, C., Leo, A., Substitute Constants for Correlation Analysis in Chemistry and Biology, John Wiley & Sons Inc., New York, NY. (1979).

Hara, T.J., Brown, S.B., "Olfactory Bulbar Electrical Responses of Rainbow Trout (*Salmo Gairdneri*) Exposed to Morpholine During Smoltification," J. Fish. Res. Board Can. Vol. 36, pp. 1186-1190. (1979).

Hatayama, H.K., Chen, J.J., deVera, E.R., Stephens, R.D., Storm, D.L., A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. (April, 1980).

Health and Welfare Canada, Amines in Steam, Ottawa, Ontario, 79-EM9-39. (1979).

Imperial Chemical Industries (ICI), Treatment of Organic Compounds, Appendix 7, Cheshire, England. (April, 1982).

International Technical Information Institute, Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual for Handling and Disposal with Toxicity and Hazard Data, Japan. (1981).

Journal of the Water Pollution Control Federation, Vol. 54, No. 6. (1983).

Lewis, R.J., Tatken, R.L., Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH. (September, 1980).

Mazeaud, F., "Morpholine, A Non Specific Attractant for Salmonids," Aquaculture, Vol. 26, pp. 184-191. (1981).

Mellan, I., Industrial Solvents Handbook, Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ. (1977).

Metry, A.A., The Handbook of Hazardous Waste Management, Technomic Publishing Company, Inc., Westport, CT. (1980).

Mills, E.J., Stack, V.T. Jr., "Suggested Procedure for Evaluation of Biological Oxidation of Organic Chemicals", Sewage Ind. Wastes. (1955).

National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, TX. (1967).

National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, MA. (1978).

National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, Second Edition, Vol. 3, S. 150, Cincinnati, OH. (April, 1977).

Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, DC. (1981).

Patty, A., Fassett, D.W., Irish, D.D. (ed.), Industrial Hygiene and Toxicology, Second Revised Edition, Vol. II, "Toxicology", Interscience Publishers, New York, NY. (1963).

Personal Communication, Duriron Canada Inc., London, Ontario. (10 August 1982).

Physical Properties of Chemical Compounds, Vol. 1, American Chemical Society, Washington, DC. (1955).

Pilie, R.J., et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 670/2-75-042. (June, 1975).

Rouse, H., Fluid Mechanics for Hydraulic Engineers, Dover Publications, Inc., New York, NY. (1961).

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, Third Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1968).

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, Fifth Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1979).

Sax, N.I. (ed.), Dangerous Properties of Industrial Materials Report. (1981)

Schwope, A.D., Costas, P.P., Jackson, J.O., Weitzman, D.J., Guidelines for the Selection of Chemical Protective Clothing, Arthur D. Little Inc., for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. (1983).

Scholz, A.T., Cooper, J.C., Horral, R.M., Hasler, A.D., "Homing of Morpholine-Imprinted Brown Trout, *Salmo Trutta*," Fishery Bulletin, Vol. 76, No. 1, pp. 293-295. (1978).

Shuckrow, A.J., Pajak, A.P., Osheka, J.W., Concentration Technologies for Hazardous Aqueous Waste Treatment, Touhill, Shuckrow and Associates, Inc., Pittsburgh, PA. (1980).

Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario. (December, 1980).

Streeter, V.L., Fluid Mechanics, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1971).

Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada. (June, 1980).

Ullmanns Encyklopaedie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim. (1975).

Union Chemicals, Solvent Chemicals, Polymer Emulsions, Hot Melt Adhesives, Union Oil Co. of California. (1976).

U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, U.S. Department of Health, Education and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, DC. (1978).

U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123. (1981).

U.S. Department of Transportation, CHRIS Hazard Assessment Handbook, U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-446-3. (April, 1974).

U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC. (1978).

U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC. (1980).

Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1984).

Water Quality Criteria Data Book: Organic Chemical Pollution of Freshwater, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC, Vol. 1. (1970).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH. (1980).

Windholz, M., Budavari, S., Stroumtsos, L.Y., Fertig, M.N. (ed.), The Merck Index, Ninth Edition, Merck & Co. Inc., Rahway, NJ. (1976).